

Trabajo Fin de Máster

Máster en Ingeniería de Automoción

**Estudio de contaminación en Barcelona: Base de
datos, emisiones y tráfico**

MEMORIA

Autor: Juan Muñoz Rodríguez
Director: Jesús Andrés Álvarez Florez
Convocatòria: Junio de 2017



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resumen

Este estudio consta de varias secciones. Cada una de ellas es en sí misma un objetivo, pero también una base para otros.

- El primer objetivo y el que más trabajo ha conllevado, ha sido la realización de la base de datos. Tras haber acotado el mercado al que se ciñe el registro de vehículos, ha finalizado conteniendo un total de 197, con sus características físicas y con hasta 4 motorizaciones con sus consumos y masas. Esto hace un total de más de 4700 datos, de los cuales algunos no estaban disponibles y ha habido que crear un criterio o método de definición.
Esta base de datos, además, se ha utilizado como elemento fundamental para los cálculos siguientes, ya que se ha considerado como referencia para los vehículos en circulación.
- El siguiente objetivo realizado ha sido el cálculo de emisiones a lo largo de un ciclo real por la ciudad de Barcelona, en concreto el recorrido de Carrer d'Aragó. Para ello se ha realizado el ciclo con el vehículo propio y se han registrado las características (posición, velocidad, tiempo...) mediante una aplicación de telefonía móvil.
Estos datos recogidos han sido procesados mediante la herramienta Excel para su conversión a:
 - archivo de fácil lectura para Matlab, donde se han realizado los cálculos energéticos necesarios.
 - archivo con los datos correctamente ordenados para su lectura con Advisor, donde se han obtenido los consumos, y emisiones a lo largo del ciclo.Los dos registros realizados se han tomado a distintas horas, y se ha podido observar cómo el tráfico no ha tenido una gran influencia. Por esta razón y en base a los registros de datos, los retrasos en el recorrido se han relacionado con las esperas en los semáforos.
Además, se ha creado un ciclo ideal intentando simular uno real mediante una ligera oscilación de la velocidad. Con este ciclo se ha pretendido buscar la mejora que supondría el lograr una coordinación perfecta de semáforos en esa calle.
- Por otro lado también se ha registrado un microciclo dos veces, un tramo de 500m a lo largo de la Av. Madrid. En el primer registro, los semáforos obligaban a detenernos y en el segundo ha sido tomada de tal forma que no hubiera detenciones. De esta manera, se ha podido hacer una comparativa real de tiempo y emisiones entre los casos de coordinación y descoordinación de semáforos.

Índice

RESUMEN	1
ÍNDICE	3
1. PREFACIO	5
1.1. Origen del proyecto.....	5
1.2. Motivación.....	5
1.3. Requerimientos previos	5
2. INTRODUCCIÓN	6
2.1. Objetivos del estudio.....	6
2.2. Alcance del estudio	6
3. ESTADO DEL ARTE:.....	7
3.1. Principales componentes contaminantes:.....	7
3.2. Normativa Europea	9
3.3. Clasificación nacional	11
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
4.1. Planteamiento general	12
4.2. Planteamiento individual	12
5. ELABORACIÓN DE LA BASE DE DATOS:	13
5.1. Selección de mercado	13
5.2. Elección de vehículos y datos	14
5.3. Problemas encontrados	16
5.3.1. Coeficiente aerodinámico:.....	16
5.3.2. Área frontal.	16
5.3.3. Coeficiente de rodadura.....	16
5.3.4. Masas y consumos de los vehículos.	17
6. MÉTODO PARA EL CÁLCULO.....	18
6.1. Definición de ciclos	18
6.2. Selección de los vehículos.....	18
6.3. Recogida de datos	18
6.3.1. Rutas	18
6.3.2. Rutas	19
6.4. Selección de datos.....	19
6.4.1. Rutas	19

6.4.2. Vehículos	19
7. FUNDAMENTO LÓGICO Y TEÓRICO	20
7.1. Caracterización de los vehículos representativos	20
7.1.1. Clasificaciones	20
7.1.2. Método de ponderación.	21
7.2. Fundamento del cálculo energético	22
7.2.1. Cálculo de potencias.....	22
7.2.2. Cálculo de energías	23
7.2.3. Cálculo de la potencia media.	23
8. ANÁLISIS DE CICLO LARGO (CARRER D'ARAGÓ).....	24
8.1. Registros.....	24
8.2. Análisis de emisiones mediante Advisor.....	29
8.2.1. Introducción de datos.....	29
8.2.2. Ciclos.....	31
8.2.3. Procesado de datos	33
8.2.4. Resultados.....	44
9. ANÁLISIS DE MICROCICLOS (AV. MADRID)	46
9.1. Contexto del caso de estudio.....	46
9.2. Análisis de fluidez del tráfico.....	47
9.3. Análisis energético teórico	48
9.4. Análisis de consumos y emisiones mediante Advisor.....	51
9.4.1. Gasolina.....	52
9.4.2. Diesel.....	55
10. PRESUPUESTO:	58
11. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	59
12. CONCLUSIONES	60
13. NUEVAS VÍAS DE INVESTIGACIÓN.....	62
14. AGRADECIMIENTOS.....	63
BIBLIOGRAFÍA.....	64

1. Prefacio

1.1. Origen del proyecto

El departamento de Máquinas y Motores Térmicos ha planteado un estudio estratégico de contaminación para poder predecir los niveles de años venideros. Para ello se ha presentado la necesidad de realizar una base de datos de vehículos.

Para aportar un primer pilar al estudio, se ha decidido que esta base de datos contenga los vehículos del mercado actual, que serán los vehículos comunes en los próximos años.

Este estudio se encuentra dentro de un proyecto de mayores dimensiones en el que colaboran otros estudiantes. Sin embargo, éste se centra en la gestión de datos y cálculo, mientras que otros se centran en la programación (como puede ser el cálculo del tráfico, aplicaciones de registro GPS...).

Hay que añadir, además, que se cuenta con la colaboración del Ayuntamiento de Barcelona y la Generalitat.

1.2. Motivación

La contaminación es un problema real en el mundo actual y las grandes ciudades como Barcelona y sus alrededores, el problema se agudiza.

Intentar prever o encontrar soluciones a este problema es un tema de gran interés actualmente dado que el estado ambiental empeora constantemente y se están intentando aplicar soluciones a ello.

En concreto, para poder realizar el estudio es necesaria una base de datos de vehículos sobre la que trabajar. Además ésta debe ser clara y ordenada para su fácil aplicación, y ha de ofrecer suficiente información de los vehículos como para poder ser usada en varios campos, y no solo en el que se sitúa este proyecto.

1.3. Requerimientos previos

Para la base de datos se ha de tener previamente un registro de los vehículos en circulación para de esta manera poder acotar el registro.

En el caso de la recogida de datos para los ciclos, se va a necesitar previamente una aplicación de telefonía móvil con la que poder recopilar la información de las rutas y poder enviarla después a un ordenador.

2. Introducción

2.1. Objetivos del estudio

Los objetivos de este trabajo de fin de master se pueden resumir en 4 puntos:

- Realizar un análisis intensivo de los distintos fabricantes para la elaboración de un registro en formato Excel, presentando las características de cada modelo del mercado.
- Mediante el uso de una aplicación de telefonía móvil específica, registrar datos correspondientes a los ciclos urbanos reales en la ciudad de Barcelona.
- Por medio de un código de Matlab desarrollado a tal fin, se obtendrán las potencias específicas instantáneas correspondientes a los ciclos registrados y se calcularán unos vehículos medios por clase, previa categorización.
- Mediante un software de código abierto, se obtendrán consumos y emisiones contaminantes.

2.2. Alcance del estudio

Qué se va a obtener:

- Base de datos del mercado más influyente, previa justificación.
- Cálculo de contaminación para cada clase de vehículo previa categorización para un ciclo real.
- Influencia de la coordinación de la señalización lumínica en las emisiones y el tráfico sobre un tramo representativo.

Qué no se va a calcular:

- Porcentaje de cada vehículo en circulación.
- Valores globales de contaminación

3. Estado del arte:

El problema medioambiental es un tema que concierne a toda la población. Cambio climático, partículas en suspensión, problemas respiratorios e insalubridad del ambiente en núcleos urbanos son conceptos que actualmente aparecen con gran frecuencia en los telediarios o documentales.

Tras muchos años ignorando el problema tanto política como socialmente, y en vista de que esa situación de despreocupación era insostenible, hace 25 años comenzaron a publicarse las primeras normativas de anticontaminación sobre los vehículos.

3.1. Principales componentes contaminantes:

Hay 5 componentes principales a la hora de analizar la contaminación:

- El primero y más conocido es el CO₂, dióxido de carbono. La emisión del mismo depende directamente del consumo del vehículo. Es decir, si se quiere reducir, hay que reducir consumos. La consecuencia de su emisión es el efecto invernadero y el gran conocido cambio climático. Sin embargo, es el gas menos dañino a la hora de analizar las consecuencias directas de su contacto con los seres vivos y la infraestructura.
- Por tanto, de los gases nocivos, el de mayor impacto es el CO o monóxido de carbono, por ser altamente mortal, dada su gran afinidad a la hemoglobina, 210 veces mayor que la del oxígeno. Además su enlace a ella es irreversible. Toda molécula que haya contactado con el CO, no volverá a portar Oxígeno.
- Los HC, hidrocarburos, se trata de combustible inquemado, partículas que no han reaccionado. Son gases tóxicos e irritantes para la piel, ojos y sistema respiratorio. Genera problemas de hígado y hasta cáncer en exposiciones largas y fuertes. Además es el mayor contribuyente al conocido smog fotoquímico.
- Los NO_x, óxidos de nitrógeno, son otros gases sobre los que se trabaja debido a su alto poder irritante y de generar quemaduras en el aparato respiratorio en caso de alta concentración, con alta posibilidad de muerte tras una larga exposición.
- En el caso de los SO_x, óxidos de azufre, su eliminación viene dada por su mal olor (al igual que los NO_x) y por la generación de la lluvia ácida. Esta lluvia es corrosiva, y tóxica. Además, el SO₂ es muy estable, lo que le permite un desplazamiento de miles de kilómetros hasta precipitar, pudiendo contaminar lagos o deteriorar bosques.
- Y finalmente, el componente más conflictivo en la actualidad, son las partículas en suspensión. Son generadas fundamentalmente por el carbón y los vehículos diésel, aunque se comienza a cuestionar también a los vehículos de gasolina. Son consecuencia de los inquemados procedentes de la cámara de combustión. Los efectos secundarios sobre el cuerpo son los problemas respiratorios y la obstrucción pulmonar, ya que una vez respiradas se quedan sedimentadas en los pulmones.

Además, en la ciudad produce el ensuciamiento de las fachadas de los edificios. La solución es sencilla si se mira desde una única perspectiva. Subir la temperatura de combustión, reduciría los inquemados. Sin embargo, lo contrario pasa con los NOx, una temperatura alta favorece la aparición de ellos, por lo que hay que buscar un equilibrio. Sin embargo, la imposibilidad de eliminar ambos, es la razón por la cual los diésel están en el punto de mira.

De un corto tiempo a esta parte, los mandatarios de las grandes urbes se han empezado a interesar en el tema y han comenzado a plantear propuestas de solución al smog generado dentro de las ciudades a causa del tráfico urbano.

Las normativas de regulación del tráfico interno ya han empezado a ser planteadas con el fin de reducir la contaminación, pero si no se plantean correctamente serán medidas que generarán polémica en ciertos sectores de la población, entre ellos, gente de familias de bajo poder adquisitivo, avanzada edad y aficionados a los vehículos clásicos.

3.2. Normativa Europea

Debido al rápido incremento de la contaminación, la comunidad europea ha ido creando normativas para limitación de emisiones contaminantes en los vehículos.

Las normativas tenían en cuenta tanto las emisiones del vehículo como la composición del combustible, ya que si no se mejora éste, hay elementos que es imposible hacer desaparecer.

La normativa Euro1 provocó un cambio muy grande en las emisiones y tecnologías de los vehículos gasolina. La obligatoriedad de instalar el catalizador, animó (más bien obligó) a muchos fabricantes a dar el salto de cara a los nuevos modelos, desde la clásica adición de combustible mediante carburación, al desarrollo de la inyección electrónica, mucho más precisa y fácil de calibrar y manipular.

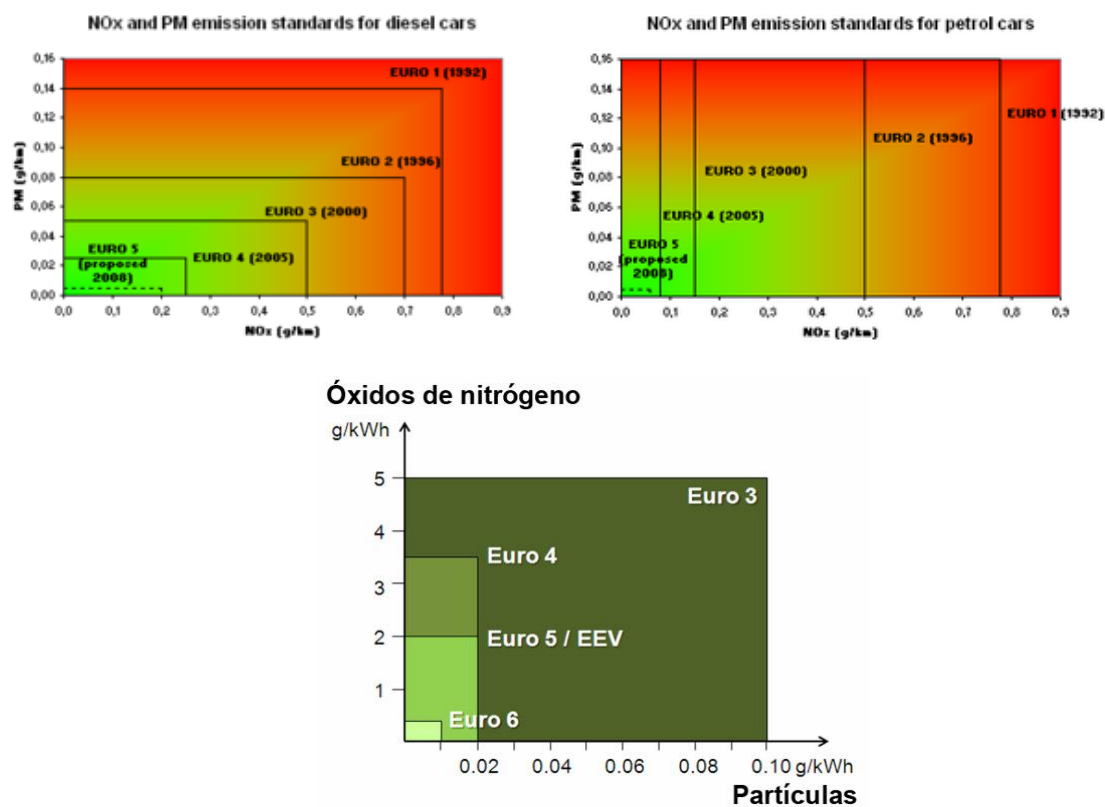
La principal razón fue que para que el catalizador funcionara correctamente, la puesta a punto del vehículo debía ser perfecta, utilizando como fluido motor una mezcla perfectamente estequiométrica. El montaje y diseño del carburador era mucho más barato, pero la contrapartida era que el comprador debía realizar puestas a punto con frecuencia. Si el fluido motor resultante no era el esperado, el catalizador se degeneraba poco a poco hasta el punto de no realizar su función.

Las sucesivas normativas Euro hasta la número 4, supusieron una gran limitación de las emisiones, pero no hubo durante ellas grandes cambios tecnológicos necesarios, básicamente supuso: mejora del software de control, utilización de turboalimentación para reducir cilindrada, aumentar el número de marchas, alargando el desarrollo, y desarrollo de catalizadores de mejores resultados.

Sin embargo, la normativa Euro 5, en el año 2009, supuso otro gran reto para los vehículos diésel, el Filtro Antipartículas (FAP). Éste retiene las pequeñas partículas provenientes de las impurezas del combustible y combustiones incompletas. La necesidad de retenerlas supuso un gran desafío tecnológico que aún está en desarrollo para reducir el tamaño de partícula retenida sin suponer una gran pérdida de potencia.

Por otro lado, los primeros FAP necesitaban un tiempo de regeneración en unas condiciones específicas. En caso de regenerar, los vehículos encendían un piloto de aviso. Si las condiciones no se cumplían (por ejemplo, circular siempre con el motor frío, pequeños periodos de tiempo o no esperar a que el filtro regenere completamente), pueden llegar a saturarse, suponiendo un gran coste su sustitución. Actualmente la regeneración es muy frecuente y no alerta, dada su frecuencia.

La normativa actual, Euro6 ha supuesto una reducción drástica de emisiones diésel. La utilización de AdBlue, mezclado en el fluido de combustión provoca que tras ella, el amoníaco generado destruya las moléculas de óxidos de nitrógeno. Tan solo es necesario utilizarlo si se sobrepasan los límites de la normativa, aunque actualmente se tiene tendencia al montaje en vehículos medios y grandes para evitar problemas de incumplimiento.



Gráfica 1: Gráficas normativa euro

Actualmente nos encontramos en la normativa Euro6, y está en plan la Euro7, que supondrá un gran reto para los vehículos diésel dado el tamaño de partícula al que pretenden limitarlos.

3.3. Clasificación nacional

Con respecto al Plan Nacional de Calidad del Aire, la DGT está llevando a cabo el plan de clasificación de vehículos en función de su poder contaminante. Para ello emitirán etiquetas para el parabrisas con distintivos de diferentes colores y categorizados como Cero, Eco, C y B, para los vehículos menos contaminantes.

El objetivo de esta clasificación es separar de forma visual y práctica los distintos tipos vehículos. De esta manera, los ayuntamientos tendrán una base clasificatoria común sobre la que tomar referencia para diseñar las normativas de restricción de circulación y beneficios fiscales.

Las 4 categorías definidas actualmente son las siguientes:

- **Cero emisiones:** Vehículos de todas las categorías que tengan una de las siguientes configuraciones: vehículos eléctricos (BEV), vehículos eléctricos de autonomía extendida (REEV), vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV) con mínimo 40 km de autonomía, o vehículos de pila de combustible.
- **ECO:** Turismos, furgonetas ligeras, vehículos de más de 8 plazas, y vehículos de transporte de mercancías clasificados en el Registro de Vehículos como híbridos enchufables con autonomía inferior a 40 kms, híbridos no enchufables (HEV), vehículos propulsados por gas natural (GNC y GNL) o gas licuado del petróleo (GLP), y siempre y cuando cumplan los criterios de la letra C.
- **C:** Turismos y furgonetas ligeras diésel a partir de 2014 y gasolina a partir de 2006. Vehículos de más de 8 plazas y transporte de mercancías tanto gasolina como diésel a partir del 2014. Diésel: Euro6, Gasolina Euro4, 5, 6.
- **B:** Turismos y furgonetas ligeras de gasolina matriculadas a partir de enero del 2000, y diésel a partir del 2006. Vehículos de más de 8 plazas y de transporte de mercancías tanto gasolina como diésel 2005. Diesel: Euro 4 y 5, Gasolina: Euro 3.



Figura 1: Pegatinas identificativas

4. Planteamiento del problema

Los objetivos del proyecto hay que diferenciarlos en dos tipos:

4.1. Planteamiento general

Por un lado está el objetivo general del conjunto, es decir, crear un método de predicción de contaminación para años venideros. Este es el reto que se plantea el departamento de la universidad y que comprende varios proyectos de menor dimensión.

4.2. Planteamiento individual

Si se habla del el proyecto individual que se da en este caso, el objetivo principal del proyecto trata de realizar una base de datos de vehículos que sirva como referencia para otras. El reto real de este punto es encontrar todos los datos, ya que no todos son de libre conocimiento y por tanto hay que crear métodos para obtenerlos.

La base de datos inicial se ha considerado que debe ser suficientemente representativa, pero, evidentemente no ha de tener todos los modelos del mercado, ya que de muchos de ellos no hay una cantidad apreciable en circulación.

A partir de esa base de datos, se debe generar una aplicación mediante Matlab que calcule las potencias y la energía teórica de un ciclo aplicado a todos los vehículos de la base de datos y otra aplicación que calcule vehículos referencia en base a unos criterios específicos.

El registro o base de datos, se debe aprovechar además para obtener los datos de contaminación en ciclos urbanos mediante los software utilizados (Advisor), pero para ello hay que utilizar unos vehículos representativos.

5. Elaboración de la base de datos:

5.1. Selección de mercado

Antes de comenzar con el estudio de mercado, ha de realizarse un estudio de vehículos en circulación para ver qué categorías son prescindibles, y por tanto poder obtener un catálogo de un tamaño razonable, pudiendo evitar vehículos de baja influencia.

De forma general se conocen 4 categorías de vehículos de uso en carretera (eliminando maquinaria agrícola, de obra y vehículos especiales):

- Ciclomotores: muy abundantes en las grandes urbes dada su agilidad por el tráfico urbano y su economía.
- Turismos: vehículo más abundante dentro de la ciudad, vehículo de locomoción necesario para muchas personas que salen afuera de la ciudad a trabajar o que por el contrario entran a ella desde municipios mal comunicados.
- Autobuses: sin duda los vehículos de mayor consumo y contaminación unitarios que circulan por la ciudad, pero que reducen drásticamente la necesidad de utilizar vehículos personales, eliminan la necesidad de aparcar y posee un consumo por usuario, menor que cualquier vehículo personal.
- Vehículos comerciales: básicamente camiones de reparto y furgonetas. Necesario para el abastecimiento de mercancías de la ciudad.

Todos los vehículos mencionados participan en la contaminación. Sin embargo, para realizar el estudio, ha habido que hacer una selección de los más representativos.

Uno de los aspectos a tener en cuenta es la cantidad de vehículos de cada categoría en circulación en la ciudad Barcelona, que se estimará con las estadísticas ofrecidas por la DGT sobre el parque móvil.

Autobuses	Camiones	Furgonetas	Ciclomotores	Motocicletas	Turismos
2508	42908	56476	52710	237284	564523
2508	99384		289994		564523

Tabla 1: Unidades de vehículos por categoría

En vista de los números recogidos de la DGT, se puede observar como la cantidad de autobuses que hay en circulación es muy escasa, y a pesar de que su consumo es muy alto y sus desplazamientos continuos, se van a obviar; más si cabe por el hecho de que muchos de ellos han sido transformados a gas (humos más benévolos) o hibridados, lo que reduce su consumo urbano de forma drástica.

Los ciclomotores también se obviarán, pues hay la mitad de vehículos respecto a turismos y su consumo ronda la cuarta parte, lo que supone una influencia en la contaminación inferior al 10% respecto a la de los turismos.

Y finalmente camiones y furgonetas. Su consumo urbano ronda el doble que el de los turismos, pero generalmente sus recorridos son más cortos y hay poco más que una

sexta parte de vehículos de esa categoría respecto a turismos, lo que hace que su influencia no supere el 10% al respecto.

Por estas razones, se ha tomado para el estudio inicial tan solo el parque móvil de vehículos turismos.

Teniendo en cuenta el repunte de las ventas de automóviles del último par de años y la continua renovación que está sufriendo el parque móvil actualmente, se considera correcto cumplimentar la base de datos, para comenzar, tan solo de características y consumos de los vehículos en venta actualmente.

5.2. Elección de vehículos y datos

Utilizando de apoyo la herramienta Excel, se ha registrado toda la información de manera ordenada y legible.

Las marcas y modelos registradas han sido las siguientes:

- **Seat:** Mii, Ibiza, León, Toledo, Alhambra, Ateca.
- **Audi:** A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, Q2, Q3, Q5, Q7, R8, TT.
- **Volkswagen:** Up, Polo, Golf, Beetle, Sirocco, Jetta, Passat, CC, Touran, Sharan, Tiguan, Touareg.
- **Mercedes:** A, B, C, E, S, G, V.
- **BMW:** 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, X1, X3, X4, X5, X6.
- **Smart:** fortwo, forfour.
- **Opel:** ADAM, Astra, Corsa, CorosslandX, Insignia, KARL, Mokka X, Zafira.
- **Skoda:** Citigo, Fabia, Rapid, Octavia, Superb, Yeti, Kodiaq.
- **Peugeot:** ION, 108, 208, 308, 508, 2008, 3008, 5008.
- **Citroen:** C1, C3, C3 picasso, C-Elysée, C4, C4 aircross, C4 cactus, C4 picasso, C4 grand pic, C5.
- **Renault:** Twizy, Twingo, Clio, Megane, Fluence, Talisman, Scenic, Espace, Kangoo, Zoe, Captur, Kadjar.
- **Dacia:** Sandero, Logan, Lodgy, Duster.
- **Fiat:** Punto, Panda, Tipo Berlina, Tipo Sedan, 500, 500x, 124 spider.
- **Alfa Romeo:** 4C, Giulia, Giulietta, MiTo, Stelvio.
- **Volvo:** S60, S80, S90, V40, V60, V90, XC60, XC90.
- **Ford:** B-Max, C-Max, S-Max, EcoSport, Edge, Fiesta, Focus, Ka, Kuga, Mondeo, Mustang.
- **Infinity:** Q30, Q50, Q60, Q70, QX30, QX70.
- **Nissan:** Yuke, Qashqai, X-Trail, Leaf, Micra, Pulsar, Note, Evalia, 370Z, GT-R.
- **Toyota:** Aygo, Yaris, Auris, C-HR, Prius, Verso, Avensis, GT-86, RAV4, Land Cruiser, Hilux, Proace.
- **Mazda:** Mazda2, Mazda3, Mazda6, Mazda CX-3, Mazda CX-5, MX-5.
- **Mitsubishi:** ASX, Montero, Outlander, Space Star.
- **Honda:** Civic, CR-V, HR-V, Jazz.
- **Hyundai:** i10, i20, i30, i40, Elantra, ix20, IONIQ, Veloster, Genesis, Tucson, Santa Fe.

- **Kia:** Carens, cee'd, Soul, Rio, Picanto, Venga, Optima, Sorento, Sportage, Niro.

Esto ha supuesto un total de 197 modelos de turismos, monovolúmenes, SUV y 4x4 (de carretera) en el mercado

La base de datos se ha contiene la siguiente información en referencia a los vehículos:

1. **País**
2. **Marca.**
3. **Modelo.**
4. **Segmento** del vehículo, no considerado importante en esta ocasión, dado que hay otros criterios de clasificación.
5. **Cuota de mercado** para hacer estadísticas, aunque no se ha considerado para este proyecto.
6. **Características aerodinámicas:** Área frontal (m^2), coeficiente aerodinámico, factor de forma (m^2): área frontal * coeficiente aerodinámico
7. **Coeficiente de rodadura.**
8. **Categorización realizada:** longitud y altitud.
9. **Dimensiones (mm):** largo, ancho, alto, batalla, vía delantera y vía trasera
10. **Motorización más alta y más baja de diésel y/o gasolina (CV)**
11. **Consumos (l/100)** de las motorizaciones seleccionadas
12. **Masas (kg)** de los vehículos con cada motorización seleccionada.

A1		B		C		D		E		F		G		H		I		J		K		L		M		N		O		P		Q		R		S		T		U		V		W		X		Y		Z		AA		AB		AC		AD		AE		AF		AG		AH		AI		AJ		AK																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
1	País	Marca	Modelo	Segmento	Cuota de mercado	Cat. Larg.	Cat. Alt.	A. frontal	CX	F. forma	F. neu	Largo	Ancho	Alto	Batalla	Via del	Via tras	G.P.	CU	CE	CM	P	G.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P	D.L	CU	CE	CM	P

Figura 2: Subconjuntos de la base de datos

En la tabla se pueden observar números en rojo. Estos son los números procedentes de fórmulas empíricas obtenidas durante el estudio (áreas frontales) o de estimaciones de valores (Cx), valores que no aparecen públicos en muchos modelos.

Los modelos eléctricos e híbridos forman parte del listado, pero no han sido introducidas sus características, puesto que no se consideran contaminantes dentro de la ciudad o tienen poco impacto en el mercado. En el caso de los vehículos que tienen la opción de motorización eléctrica o híbrida, y la opción de motores de combustión únicamente, se han considerado tan solo los motores de combustión.

Por otro lado, tampoco se han considerado los motores a gas, ya que, del mismo modo, no se consideran tan contaminantes como los de combustible líquido.

5.3. Problemas encontrados

Durante la recogida de datos han surgido dificultades debido a que algunos de los datos recogidos no han sido obvios, ya sea por inexistencia de los datos públicos o por querer tener en cuenta más variables no mencionadas.

A continuación, por tanto, se detalla la resolución de estos problemas.

5.3.1. Coeficiente aerodinámico:

El coeficiente aerodinámico es un valor que tan solo los fabricantes conocen, pues obtenerlo por pruebas es muy caro. En muchos de los casos, encontrar el coeficiente ha sido imposible, y por tanto ha habido que deducirlo.

Para ello se han buscado vehículos de su categoría y se ha buscado un valor de un vehículo similar.

Puesto que los esfuerzos aerodinámicos dentro de la ciudad suelen ser bajos, tener un coeficiente aproximado, no exacto, no va a suponer una gran pérdida de precisión.

5.3.2. Área frontal.

En caso de ser desconocido, hay una fórmula genérica que define el área frontal como: 0.8 veces el ancho por el alto. Sin embargo se ha querido ir un poco más allá, obteniendo un coeficiente de área que no sea tan genérico, haciendo un cálculo en base al mercado actual..

Para ello se ha partido de los valores recolectados de áreas de vehículos, y para cada categoría se ha utilizado la expresión:

$$C_A = \frac{\Sigma A_f}{\Sigma (a * h)} \quad (\text{Ec. 5-1})$$

Donde a es la anchura, h la altura, A_f es el área frontal y el sumatorio hace referencia a todos los vehículos cuyos Áreas Frontales son conocidos por catálogo.

El valor obtenido finalmente para el coeficiente de área ha sido de 0.84.

5.3.3. Coeficiente de rodadura.

La fórmula a aplicar al esfuerzo de rodadura tiene en cuenta muchos factores, cuya aplicación es muy complicada. Por tanto, se ha utilizado la fórmula simplificada:

$$F_{rod} = C_{rod} \cdot m \cdot g$$

Por tanto, la potencia consumida será proporcional a la velocidad. El coeficiente seleccionado ha sido uno genérico de 0.015 a aplicar a todos los vehículos.

5.3.4. Masas y consumos de los vehículos.

En este valor se ha querido tener en cuenta también el peso de los extras, equipamiento de versiones de mayor coste, o la existencia de un modelo familiar.

Por ello, por un lado, tanto en gasolina como en diésel, para la motorización inferior se ha elegido el equipamiento más básico, obteniendo por tanto el peso más bajo del modelo

Y por otro lado, con la motorización superior ha sido elegido la versión de máximo equipamiento, con caja de cambios automática y en carrocería familiar, lo que nos resulta en el extremo superior del rango de pesos.

Esta selección, además, se ha considerado válida para obtener los extremos en consumos del vehículo.

En los vehículos sin opción a motorización, se ha escogido un equipamiento medio.

6. Método para el cálculo

6.1. Definición de ciclos

Para realizar el estudio de contaminación, se ha pretendido utilizar unos ciclos representativos de la ciudad. Calles o Avenidas largas y de alta densidad de circulación o que pueden crear problemas por saturación en horas punta.

A tal fin, ha sido seleccionado el siguiente recorrido:

- Carrer d'arago: desde meridiana hasta el final en Plaça Espanya. El recorrido se ha realizado a las 17h y a las 19h para poder comparar el tráfico.

Por otro lado se ha analizado cuál puede ser el beneficio obtenido por la coordinación de los semáforos a lo largo de una calle.

- Avenida Madrid, desde su inicio hasta el número 109. Este ha sido el microciclo seleccionado para realizar el ensayo. Es un tramo conocido por ser un caso en el cual la diferencia entre circular en un momento o circular en otro puede suponer salvar todos los semáforos o tener que detenerte en varios seguidos.

Por tanto han sido realizados 2 registros.

- o Con detenciones en los semáforos.
- o Sin detenciones

6.2. Selección de los vehículos

Obtenidos los ciclos, hay que decidir que vehículos se van a ensayar, ya que graficar la totalidad de ellos es inviable

Tras meditar, por un lado se ha considerado ensayar vehículos con características ponderadas en todas las categorías para el caso de Aragón, y utilizar tan poco la categoría urbana para comparativa del microciclo de la Av. Madrid.

6.3. Recogida de datos

6.3.1. Rutas

Para la recogida de datos del ciclo de conducción, ha sido utilizada la aplicación para telefonía móvil Android, desarrollada por otro integrante del proyecto principal, para tal fin.

Esta aplicación registra la posición de GPS y medidas del acelerómetro. De todos los datos que nos recoge la aplicación, tan solo es necesario el de velocidad y el del instante en el que ese dato se ha leído.

En el Anexo II se explica cómo se ha de preparar la aplicación para la lectura de datos.

Con los datos en el ordenador, se ha debido hacer un fuerte filtrado y en general para el procesado de los datos en todos los aspectos, se ha utilizado MATLAB como programa básico. Las tablas de Excel son tan solo registros de información, bien sean registros de lectura como de escritura.

6.3.2. Rutas

La información recogida sobre los vehículos ha sido de una magnitud mayor a la necesaria para los primeros pasos, ya que la tabla creada trata de ser un archivo genérico al que poder recurrir para realizar otros tipos de estudios.

Es por ello que ha de ser una tabla de referencia, el pilar básico sobre el que se apoye la elaboración de otras bases de datos de mayor dimensión.

La recolección de datos ha sido realizada a partir de revistas electrónicas donde tienen todos sus datos recopilados y paginas oficiales de los fabricantes para aquella información de la que no disponían las revistas.

6.4. Selección de datos

6.4.1. Rutas

Tras importar todos los datos a una hoja de cálculo, se han eliminado las filas con lecturas erróneas (null) por tener en ese momento aún desactivado el sensor de GPS. Una vez eliminadas se ha creado un código mediante Matlab que procesa la ruta que le sea introducida.

El punto principal del programa es la eliminación de datos innecesarios. La aplicación genera una frecuencia de muestreo de aproximadamente 10Hz, que es la frecuencia a la que lee los datos de los acelerómetros.

Sin embargo, la lectura de velocidades tan solo varía una vez por segundo. Por tanto, para extraer los datos realmente interesantes para este estudio ha habido que generar una nueva matriz en la que se han introducido 1 de cada 10 registros.

Con estos datos clasificados, el siguiente paso ha sido calcular la matriz de aceleraciones, valores también necesarios para la realización de los cálculos.

6.4.2. Vehículos

El procesado de esta serie de datos es muy sencillo, ya que han sido registrados de la forma muy sencilla de seleccionar.

De la matriz de vehículos general, se han extraído tan solo las columnas correspondientes a los datos de interés.

En este caso nos han interesado: Longitud, altura, factor resistente aerodinámico, potencias y masas de cada motorización, obteniéndose una matriz de 14 columnas, de las 35 de la matriz original.

7. Fundamento lógico y teórico

7.1. Caracterización de los vehículos representativos

7.1.1. Clasificaciones

Aunque gracias a MATLAB es viable y se ha hecho un registro de los resultados para todos los vehículos, la cantidad de datos es tan voluminosa que es muy imposible de representar de manera visual.

Con el fin de poder obtener un número manejable de graficas resultantes, se ha procedido a hacer una ponderación de vehículos..

Se han tomado 4 motorizaciones extremas:

- Gasolina pequeño
- Gasolina grande
- Diésel pequeño
- Diésel grande

Estos motores se van a combinar con 3 categorías de vehículo:

- Urbano (pequeño)
- Suburbano (medio)
- Interurbano (grande)

Utilizando el método de ponderación definido en la sección 7.1.2, se obtienen 6 vehículos referencia:

- Gasolina urbano
- Diésel urbano
- Gasolina suburbano
- Diésel suburbano
- Gasolina interurbano
- Diésel Interurbano

Las ponderaciones se han realizado siguiendo los siguientes conceptos:

- Longitud: urbano hasta 4200mm, suburbano hasta 4500mm , e interurbano, de más de 4500 mm
- Motorización inferior a 200 cv se considera un vehículo normal en urbano, y suburbano, mientras que para los interurbanos se han ponderado hasta 400 cv. El resto de vehículos se ignoran dada la cantidad residual de ellos.

7.1.2. Método de ponderación.

El cálculo del vehículo medio consta de varios pasos. Todo el procedimiento se realiza mediante Matlab y el código puede verse en el Anexo V.

El código está escrito de tal forma que:

- Primero, discrimina el vehículo por longitud, seleccionando tan solo los vehículos del grupo escogido.
- El segundo paso que realiza es leer la primera motorización del tipo que se le haya seleccionado (gasolina o diésel), comprobando que haya alguna. Si no la hay, salta al siguiente vehículo.
- En caso de que haya datos, como tercer paso, comprueba que el motor sea inferior a la potencia máxima asignada a la ponderación.
- El cuarto paso comprueba que haya un segundo motor y si cumple con la potencia máxima. En caso de ser afirmativo, toma la masa media correspondiente a los vehículos con esas motorizaciones, para que solo se tenga un dato por modelo, y no se dupliquen por tanto los vehículos. Si no cumple, toma solo la masa de la primera motorización.
- Y el quinto y último paso es la suma acumulada de las masas. Además, utilizando un contador, calcula todas las acumulaciones que ha hecho, por lo que al dividir, se obtiene la masa media del mercado para esa categoría.

Realizando ese procedimiento con todas las categorías y motores descritos, se obtiene la Tabla 2, habiendo obviado los vehículos deportivos por su ínfima cantidad al respecto en circulación.

	Masa gasolina	Coches gasolina	Masa diésel	Coches diésel
Media urbanos	1102	50	1227	31
Media suburbanos	1348	52	1429	52
Media interurbanos	1635	64	1725	70

Tabla 2: Masa de vehículo medio por categoría y número de vehículos utilizados

7.2. Fundamento del cálculo energético

7.2.1. Cálculo de potencias

En el diagrama de potencias de un vehículo en movimiento hay 4 acciones principales.

Potencia activa -> potencia motriz

Potencias pasivas -> potencia aerodinámica, potencia de rodadura y potencia de pendientes

La potencia motriz en rueda es la opuesta a la suma de las pasivas, por lo que la ecuación está clara:

$$P_{mot} = P_{aero} + P_{rod} + P_{pte} + P_{in} \quad (\text{Ec. 7-1})$$

La potencia aerodinámica se rige por la siguiente ecuación:

$$P_{aero} = \frac{1}{2} * \rho * C_x * S * v^3 \quad (\text{Ec. 7-2})$$

*Donde ρ es la densidad del aire y S la superficie frontal del vehículo (Si se desconoce, $S=a*h*0.84$)

La potencia de rodadura se ha simplificado como un valor proporcional a la velocidad, dado que tiene muchas variables desconocidas.

$$P_{rod} = f * m * g * v \quad (\text{Ec. 7-3})$$

La potencia debida a la pendiente ha sido obviada por dos razones:

- Las alturas obtenidas del GPS son muy poco exactas, lo que da lugar a resultados de potencias desmedidos.
- La ciudad de es prácticamente plana, salvo en algunas zonas, y en cualquier caso, casi todos los trayectos realizados por la ciudad tienen un equivalente en ambos sentidos en cuanto a pendientes, bien sea por la misma calle o por calles paralelas, lo que hace que el resultado tras un recorrido de día y vuelta sea equivalente, teniéndolas en cuenta o no.

Tan solo falta por definir las potencias necesarias para la aceleración del vehículo (inercias), que se rigen por:

$$P_{in} = m * a * v \quad (\text{Ec. 7-4})$$

Por tanto, sustituyendo las ecuaciones 7-2, 7-3 y 7-4 sobre 7-1, la ecuación obtenida para el cálculo de potencias motrices (siempre teóricas) ha sido la siguiente:

$$P_{mot} = \frac{1}{2} * \rho * C_x * S * v^3 + f * m * g * v + m * a * v \quad (\text{Ec. 7-5})$$

7.2.2. Cálculo de energías

Dado que los registros son finitos, para la obtención de la energía total se ha realizado un sumatorio incremental:

$$E = \sum_{i=1}^n P_i \cdot (t_i - t_{i-1}) \quad (\text{Ec. 7-6})$$

donde n es el número de registros del tramo.

7.2.3. Cálculo de la potencia media.

Para ello, al conocerse la Energía del ciclo y el tiempo que ha tardado en realizarlo, el cálculo es directo:

$$P_{media} = \frac{E}{T} \quad (\text{Ec. 7-7})$$

donde T es el tiempo total del ciclo o la suma de todos los tiempos de muestreo.

8. Análisis de ciclo largo (Carrer d'Aragó)

8.1. Registros

La calle Aragón es una de las más transitadas de Barcelona. Debido a su longitud y a su composición de hasta 6 carriles en ciertos tramos, hace que sea una línea de desplazamiento muy recurrida. Sin embargo, el aumento de tráfico de la calle puede suponer su colapso y por tanto un incremento de la contaminación ambiental y sonora de forma extrema en horas punta.

Para poder analizar esta contaminación, se han realizado dos registros, a distintas horas y días.

- 5 de mayo a las 17h
- 30 de mayo a las 19h

Para el primer registro ha sido realizado el trayecto de la Figura 3.

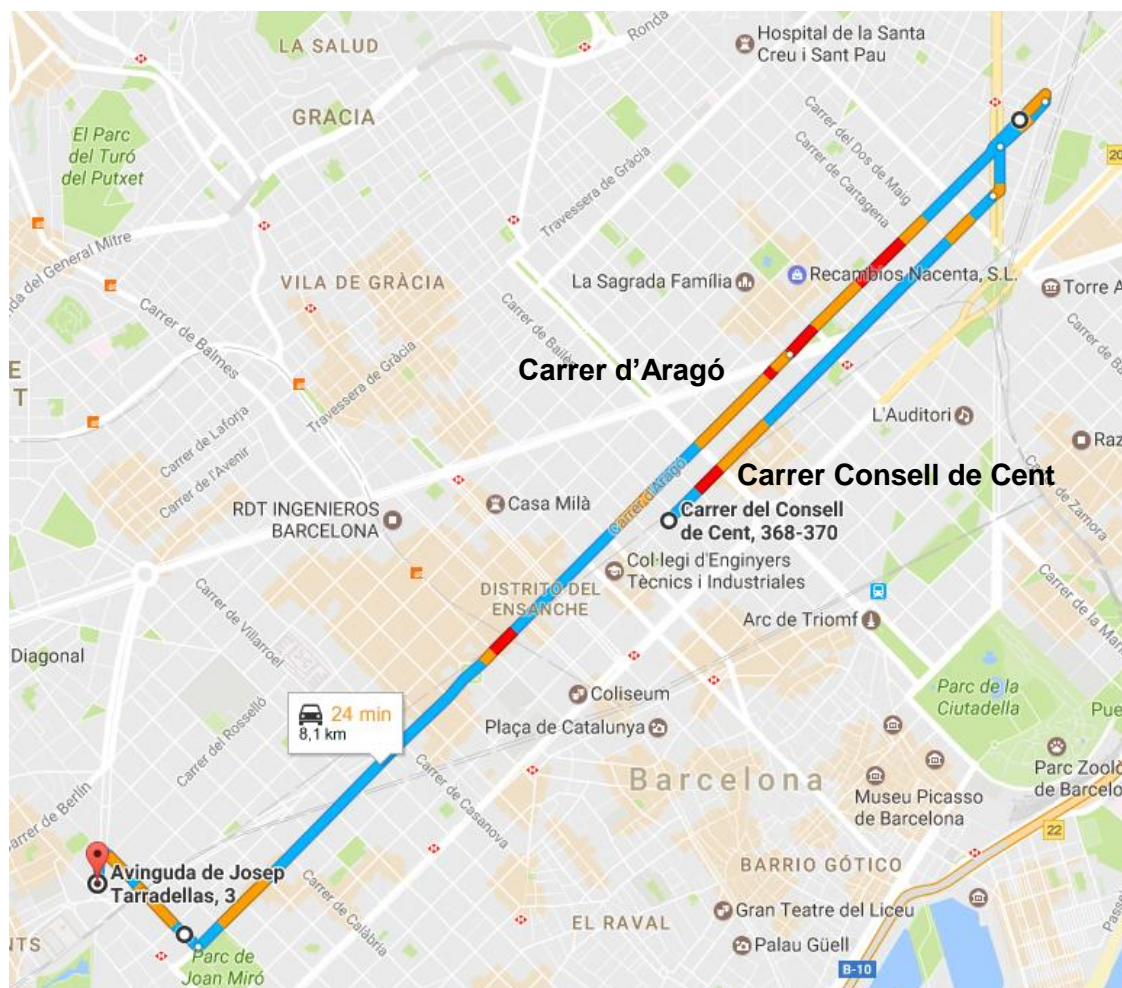


Figura 3: Mapa recorrido Aragón

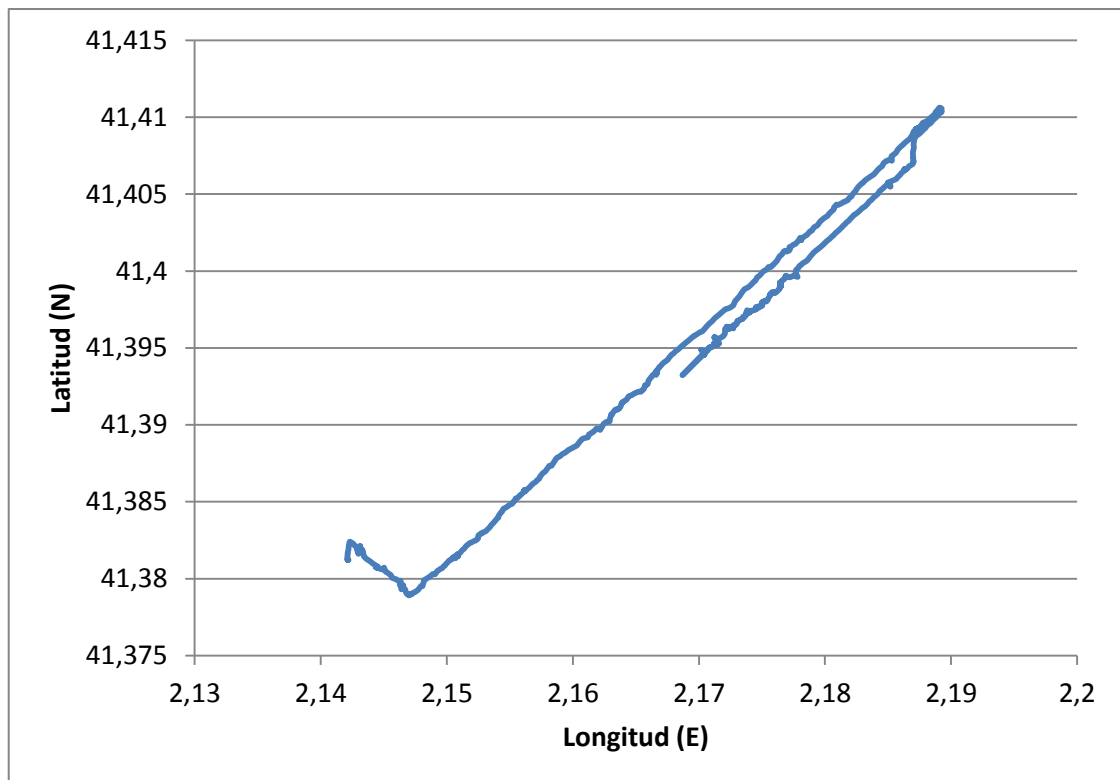
Entre los datos que se han obtenido del GPS se encuentran latitud y longitud, lo que nos ha permitido representar las posiciones mediante una gráfica Excel para comprobar su buena correlación.

En la Gráfica 2 por tanto, pueden observarse los dos registros realizados, y comprobarse que el orden de los puntos es correcto porque no hay saltos ni líneas extrañamente rectas.

En las gráficas de esta sección, el color azul es el correspondiente a las 17h del 5 de mayo, y el rojo de las 19h del día 30 (que tan solo fue grabada la calle Aragón).

En la Gráfica 2, tan solo puede observarse el recorrido de las 17h, dado que el registro realizado a las 19 es estrictamente la calle Aragón, y va sobre la línea, no apreciándose la diferencia.

En la Gráfica 4 puede observarse sin realizar ningún análisis cuantitativo que la diferencia de velocidades de cruce a lo largo del recorrido no es apreciable. Sin embargo, sí hay un desfase entre ellas por haber tenido detenciones en distintos semáforos, pero a nivel global pueden predecirse unos niveles similares de ritmo medio y emisiones.



Gráfica 2: Registro Carrer d'Aragó a las 17h

Gracias a Matlab, además, se ha podido obtener un gráfico tridimensional, que permite interpretar fácilmente el registro de velocidades, como puede verse en la Figura 4.

De la misma figura, puede observarse como la calle Consell de Cent es mucho más problemática en cuanto a tráfico que la Carrer d'Aragó. La gran congestión que se genera es debida a 3 factores:

- Alta cantidad de vehículos, lo que reduce la velocidad de circulación.
- Semáforos mal coordinados.
- Características de la vía: tan solo el carril central es de ritmo constante.
 - Tan solo 3 carriles.
 - Vehículos de reparto mal estacionados en los carriles laterales por falta de aparcamiento.
 - Autobuses parados en el carril derecho.
- Cruces de pequeño tamaño en cuyos semáforos se generan colas que entran en Consell de Cent.

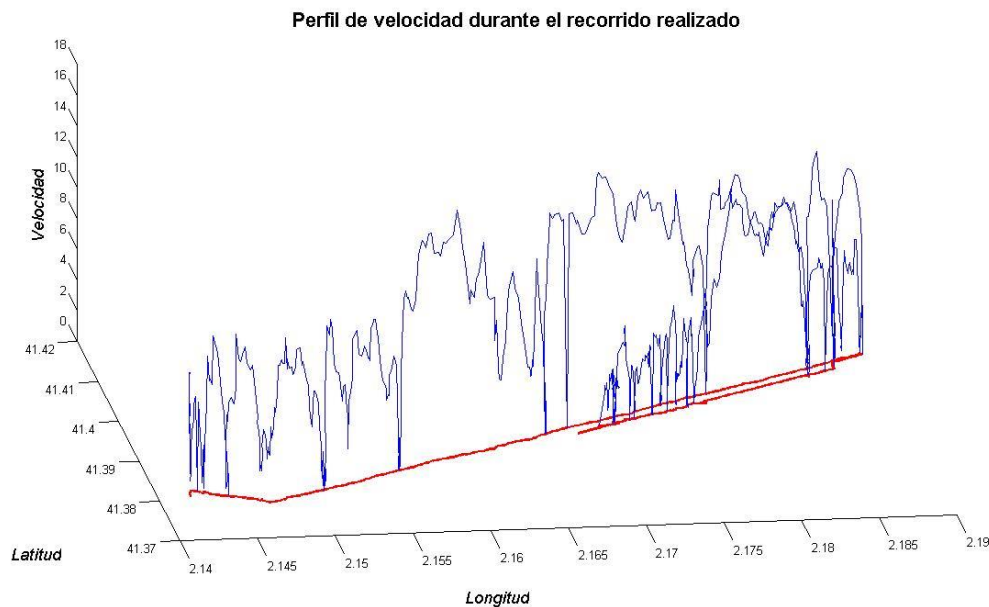
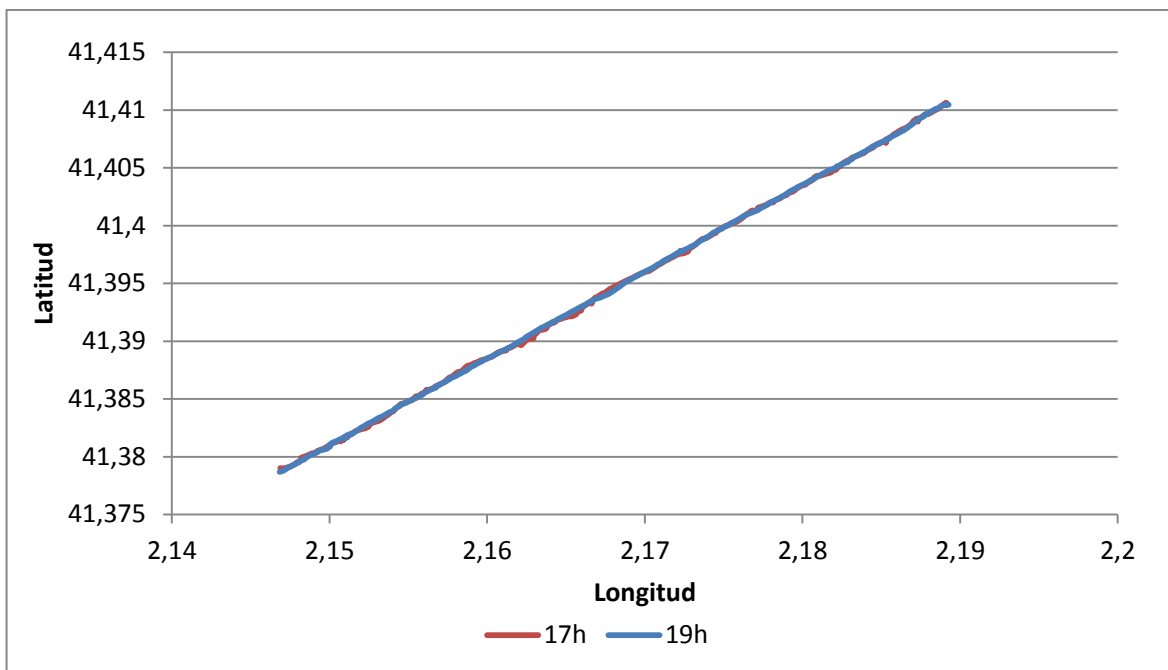


Figura 4: Velocidades Registro 17h

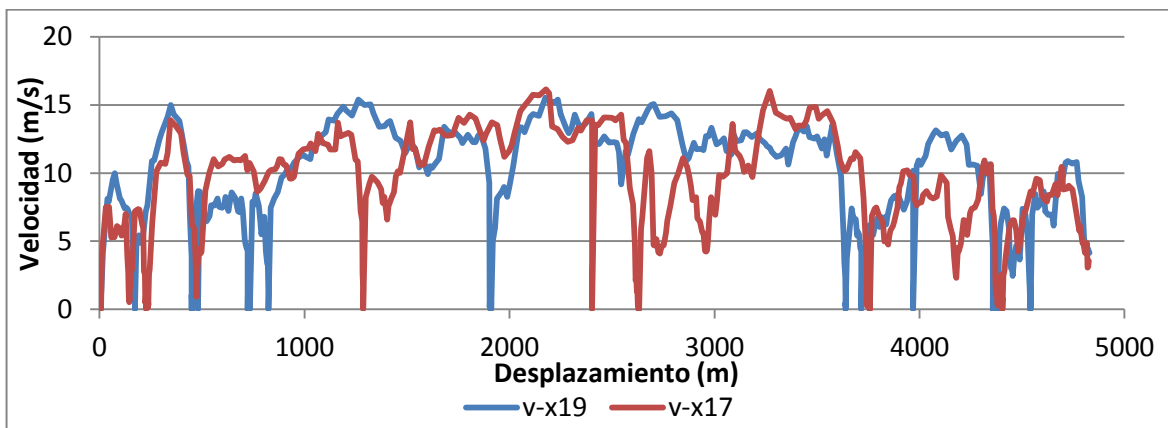
Es por ello que se recomienda realizar un estudio sobre el tráfico en esa vía. La coordinación de semáforos podría ahorrar mucho combustible, reducir la contaminación y agilizar el transporte.

Sin embargo, como el objetivo de análisis era la Carrer d'Aragó, no se ha decidido desviar el estudio. Esta calle es de mucho más tránsito, dada su anchura, de hasta 6 carriles en algunos puntos, por lo que un estudio sobre ella es de mayor utilidad.

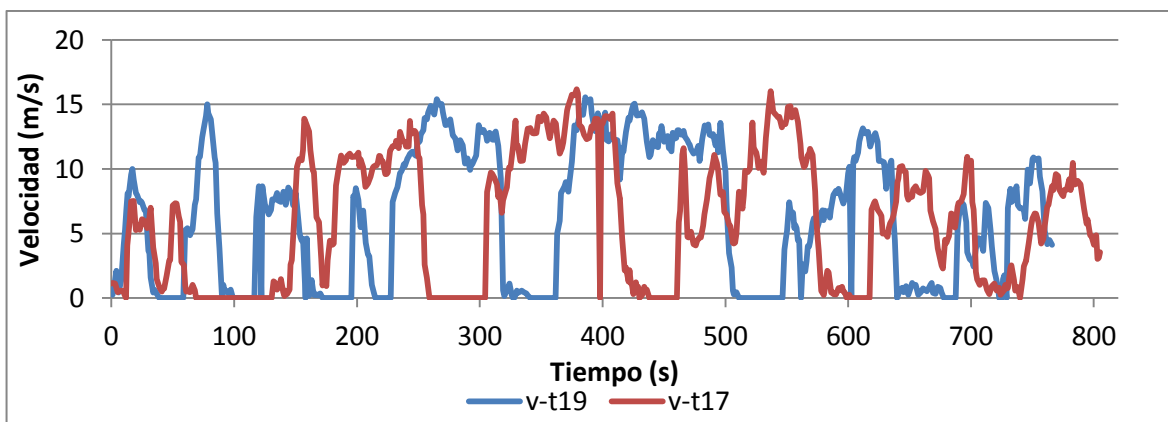
Por tanto, el primer paso es verificar que ambos ciclos estén bien registrados. Mediante la se puede observar como son perfiles continuos y por tanto, los datos están correctamente ordenados.



Gráfica 3: Registro latitud-longitud Carrer d'Aragó



Gráfica 4: Perfil velocidad-desplazamiento Carrer d'Aragó



Gráfica 5: Perfil velocidad-tiempo Carrer d'Aragó

En un vistazo general se pueden apreciar perfiles similares, con rampas de aceleración parecidas, y periodos de movimiento y parada parecidos.

Si se estudia cuantitativamente, de los perfiles de registrados, se pueden obtener algunas conclusiones sobre las velocidades medias y tiempos de ciclo.

	17h		19h	
	Con parada	Sin paradas	Con paradas	Sin paradas
Distancia (m)	4826		4828	
Tiempo (s)	805	660	766	624.5
V_media (m/s)	6	7.3	6.3	7.7
V_media (km/h)	21.6	26.28	22.7	27.8

Tabla 3: Datos generales de registros Carrer d'Aragó.

Se puede observar como la velocidad punta alcanzada en trayecto estable durante el recorrido es aproximadamente la velocidad máxima urbana. A la vista de los resultados, la velocidad media lograda no llega ni a la mitad de la máxima urbana.

Durante el trayecto, además, pudo observarse que los semáforos estaban coordinados para que se vayan cerrando a un ritmo de 50 km/h reales (hasta 55 de velocímetro). Esto provoca que la gente deba ir por encima del límite en ciertos momentos y también que un pequeño número de reducciones de velocidad por el motivo que sean supone la pérdida de tiempo suficiente como para no poder hacer todo el tramo coordinado de seguido.

De forma cualitativa, sería muy conveniente hacer una coordinación a un ritmo menor, quizá 40 km/h pero garantizando que todos los vehículos pudieran pasar, y sirviendo, además, de control de velocidad.

Una velocidad más lenta pero con menos paradas supone un consumo muy inferior, así como una reducción del tiempo de ciclo, sobre todo si se logra coordinar toda la calle a una velocidad adecuada.

Estas conclusiones se pueden ver en la sección 8.2, donde se comprueban con Advisor los ciclos reales con un ciclo ideal pero de velocidad variable en un rango.

8.2. Análisis de emisiones mediante Advisor.

8.2.1. Introducción de datos.

Rendimiento del motor

Masa veh.

Masa motor

Masa sist. escape

Potencia (kw)

Masa transmisión

Rdto. transmisión

Masa de carga

Masa total

Component	Value
Vehicle	VEH_SMCAR
Fuel Converter	FC_SH1_emis
Exhaust Aftertreat	EX_SI
Energy Storage	ess options
Energy Storage 2	ess 2 options
Motor	MC_AC124_EV1_draft
Motor 2	motor 2 options
Starter	starter options
Generator	gc options
Transmission	TX_SSPD
Transmission 2	trans 2 options
Clutch/Torq. Conv.	clutch/torque converte...
Torque Coupling	TC_DUMMY
Wheel/Axle	WH_SMCAR
Accessory	ACC_CONV
Acc Electrical	acc elec options
Powertrain Control	PTC_CONV
Cargo	276
Calculated. Mass	1207

Figura 5: Interfaz de selección de vehículo en Advisor

En base a la interfaz de la Figura 5, se describen las opciones usadas para definir los vehículos.

- Tipo de vehículo

Para seleccionarlo se ha buscado un vehículo predefinido inferior en masa y después añadido carga hasta igualar la masa a la del vehículo de estudio.

- En el caso de los vehículos urbanos, ha sido utilizado un VEH_SMCAR
- Para los vehículos suburbanos VEH_compact
- Y para los vehículos interurbanos VEH_largeCar

- **Grupo motriz:** Conventional, front-wheel drive.

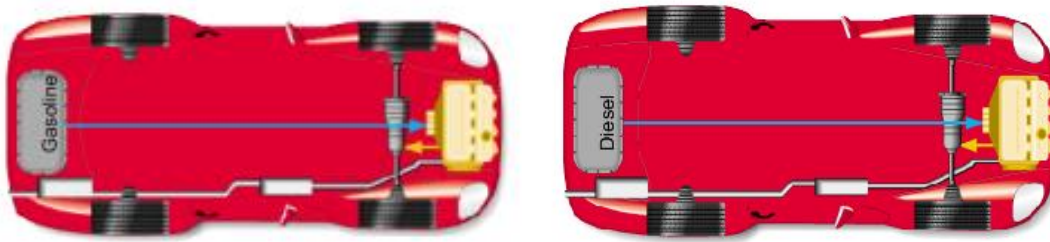


Figura 6: Esquema general de los vehículos gasolina (izq.) y diésel (dcha.).

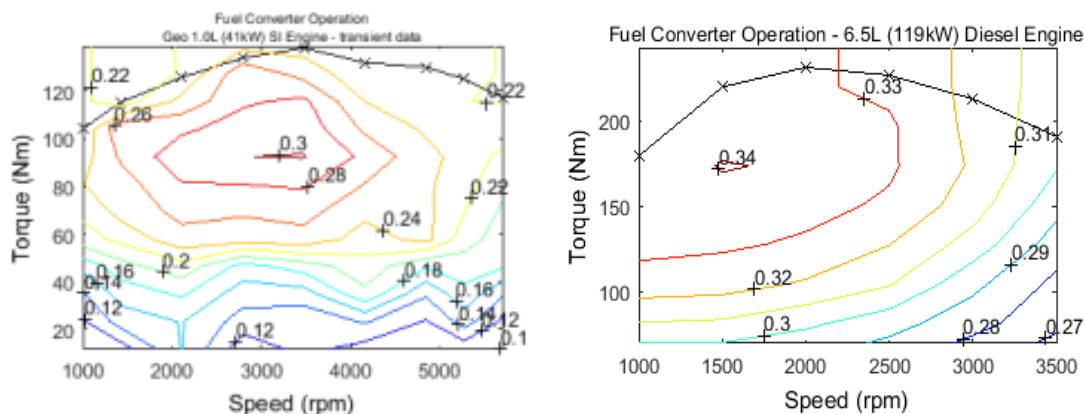


Figura 7: Mapas de rendimiento respecto a par y rpm: gasolina (izq.) y diésel (dcha.)

En las Figura 6 se pueden observar los esquemas de los vehículos genéricos, elegidos como tracción delantera, y en la Figura 7 los mapas rendimientos del motor utilizados por el programa para los distintos casos de motorización (fuel converter): diésel (internal combustion, compresión ignition - IC/CI) y gasolina (internal combustion, spark ignition – IC/SI)

Los rendimientos genéricos aplicados al convertidor de combustible han sido de 0.34 a diésel y 0.28 a gasolina. Y 0.98 al sistema de transmisión.

Los motores concretos utilizados han sido los siguientes:

Gasolina: IC / SI / FC_SIXXX_emis

Diesel: IC / CI / FC_CIXXX emis

Donde XXX es la opción cuya potencia es la inferior más próxima a la del vehículo.

Y las potencias asignadas a los distintos grupos han sido:

- Urbano: 70 kW – 95 cv
- Suburbano: 100kW – 136 cv
- Interurbano: 130kW – 171 cv

- **Masas**

De forma automática el programa aplica unos pesos estimados a las diferentes opciones. Con cada tipo de vehículo se obtiene una masa de carrocería. Eligiendo una motorización y dependiendo de la potencia, se suma una masa del grupo motriz, también influye la transmisión (automática / manual) y el sistema de escape.

Por lo tanto, tan solo queda para jugar, la carga del vehículo. Ésta será modificada hasta ajustarse a los valores clasificados en la Tabla 2.

Una nota importante es que no se ha tenido en cuenta la masa del conductor, pues se ha podido comprobar cómo su influencia (70kg aprox.) sobre el consumo y, por tanto, sobre emisiones era de un 2%. Es por ello, no se ha querido especificar hasta ese punto.

8.2.2. Ciclos

Se han simulado un total de 3 ciclos.

A los dos ciclos registrados se le suma un nuevo ciclo, de diseño propio, que intenta simular una circulación real a velocidad constante y que se le ha llamado ciclo semi-real.

La finalidad de este nuevo ciclo es poder comprobar qué reducción de emisiones y consumos, así como de tiempos, sería posible realizar en caso de que la circulación se lograra hacer a ritmo constante.

En este caso se han considerado las siguientes características:

- Velocidad de cruce: 40 kmh
- Variación de velocidad ± 2 kmh
- Tiempo de ciclo 16 segundos (38km/h-42km/h-38km/h).

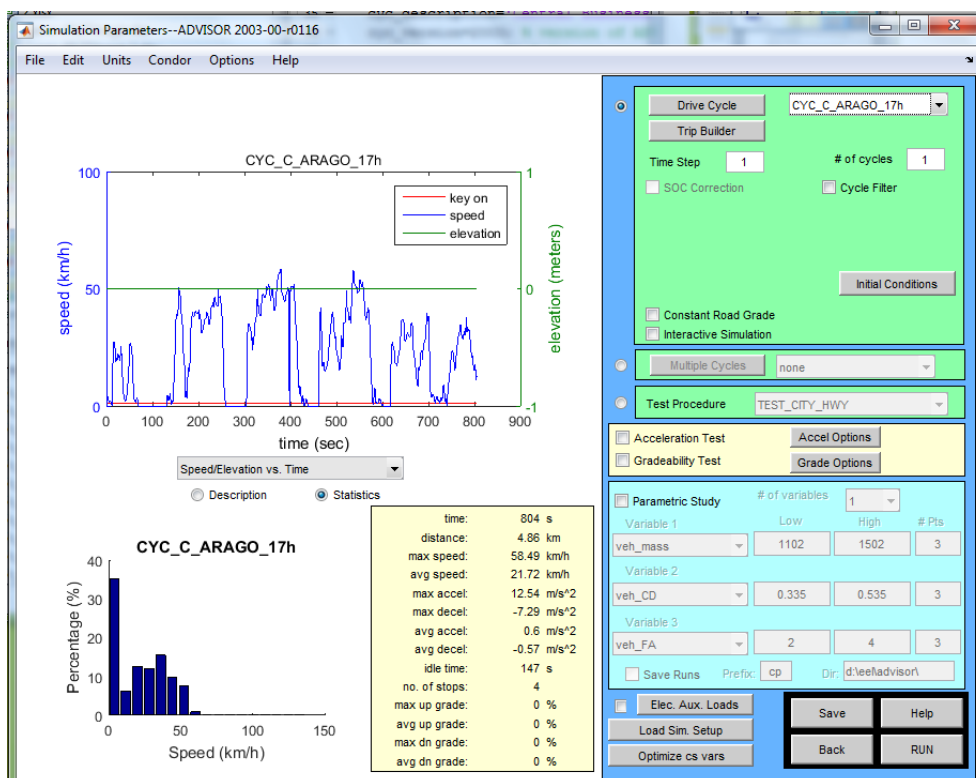


Figura 8: Ciclo Carrer d'Aragó 17h

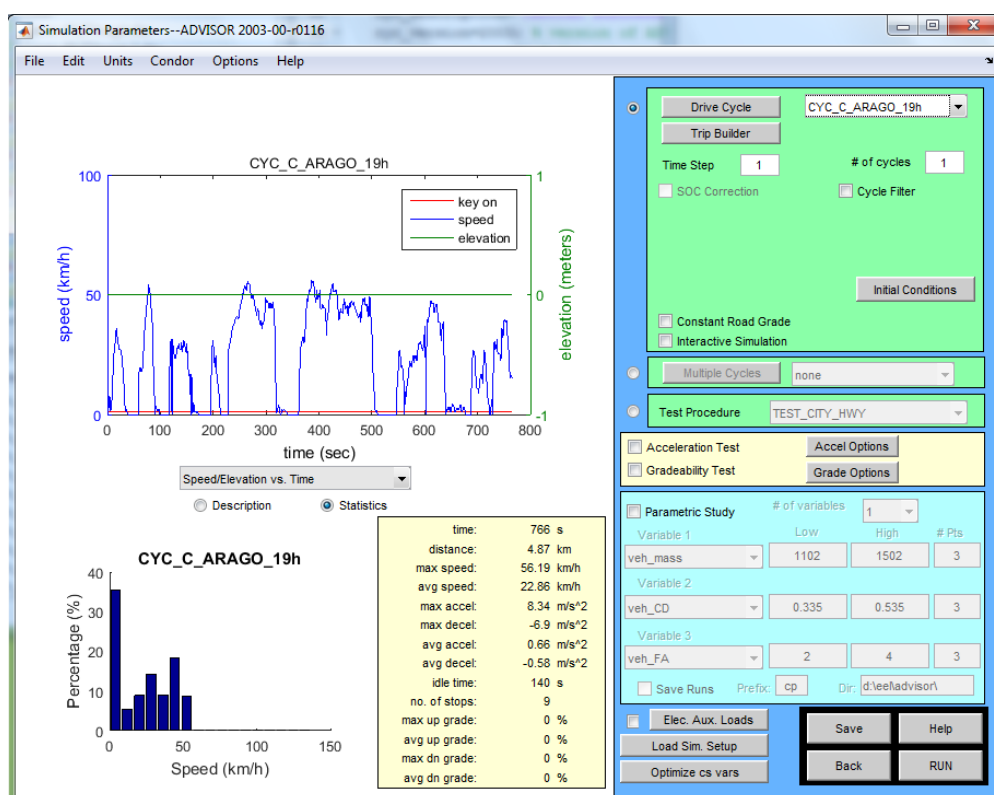


Figura 9: Ciclo Carrer d'Aragó 19h

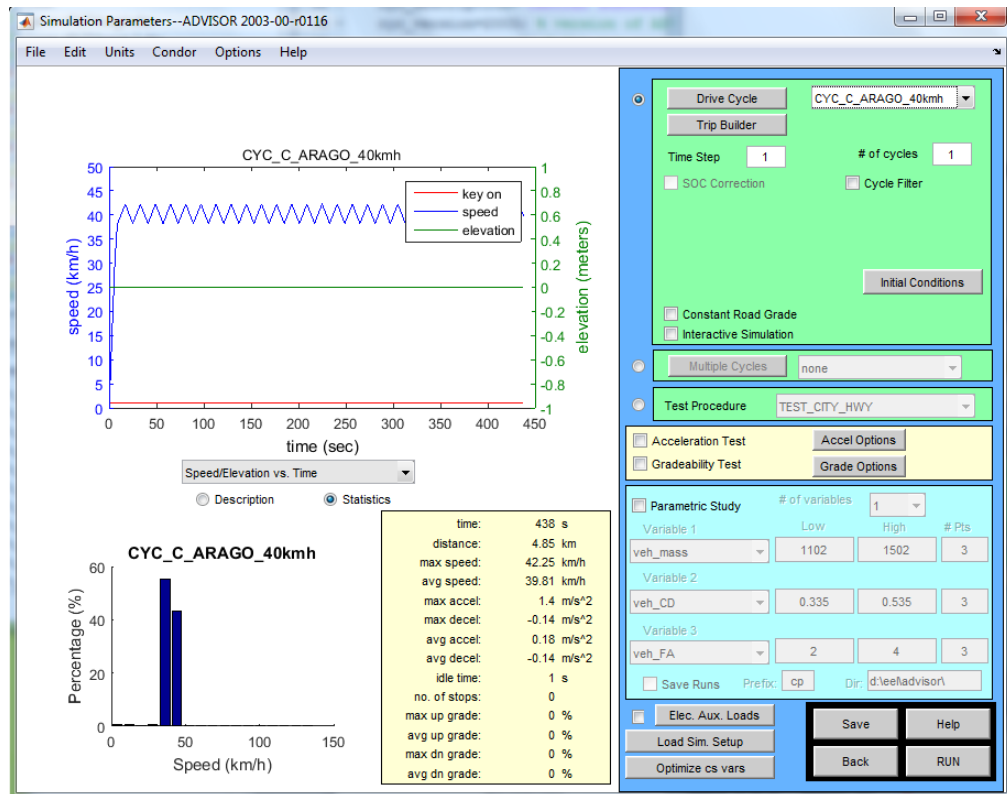


Figura 10: Ciclo Carrer d'Aragó semi-real 40km/h

8.2.3. Procesado de datos

Se han utilizado como modelo los 6 vehículos referencia de la Tabla 2.

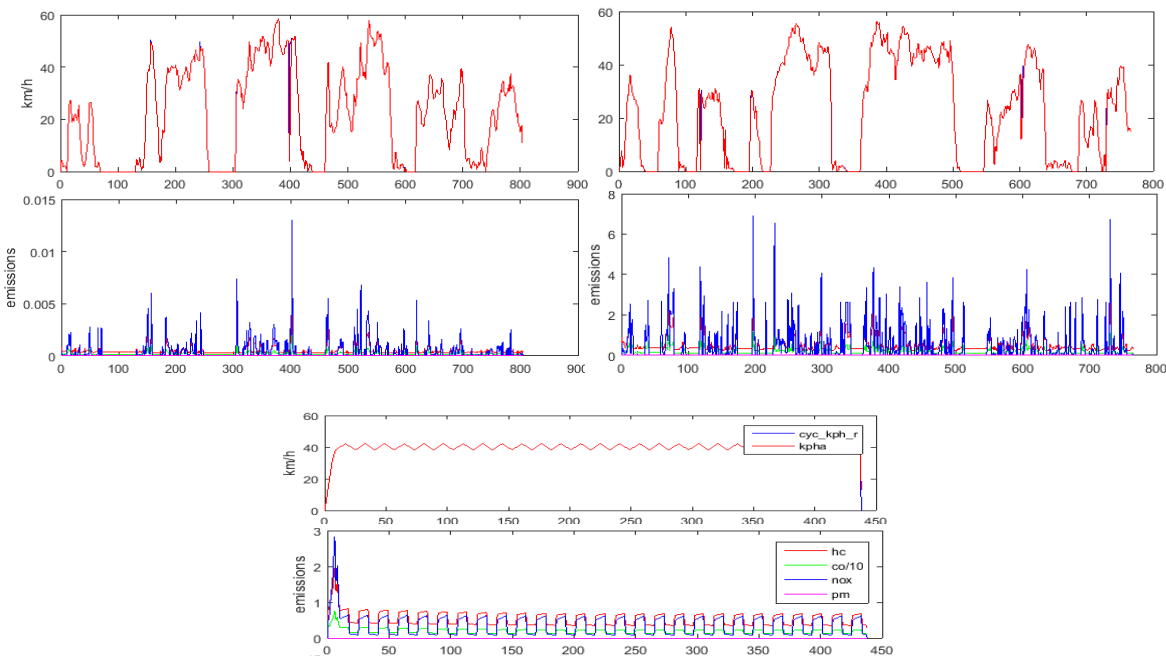
Además, para poder obtener un valor medio global, se ha definido la siguiente estimación de proporción de vehículos en circulación:

- Urbanos: 50%
- Suburbanos: 35%
- Interurbanos: 15%.

Gracias a Advisor se han podido obtener gráficas de emisiones y datos de consumo.

Estos datos se han estudiado cuantitativamente, por cada categoría de vehículo predefinida, se han comparado, y después se han procesado para obtener valores medios.

- **Gasolina – urbano:**



Gráfica 6: Gráficas de vehículo gasolina urbano (Izq: 17h, Dcha 19h, Abajo: 40km/h constante)

Fuel Consumption (L/100 km)		10.6	Fuel Consumption (L/100 km)		10.6	Fuel Consumption (L/100 km)		5.3			
Gasoline Equivalent		10.6	Gasoline Equivalent		10.6	Gasoline Equivalent		5.3			
Distance (km)		4.8	Distance (km)		4.9	Distance (km)		4.8			
Emissions (grams/km)				Standards		Emissions (grams/km)				Standards	
HC	CO	NOx	PM	HC	CO	NOx	PM	HC	CO	NOx	PM
0.094	0.324	0.078	0	0.093	0.322	0.084	0	0.049	0.172	0.032	0

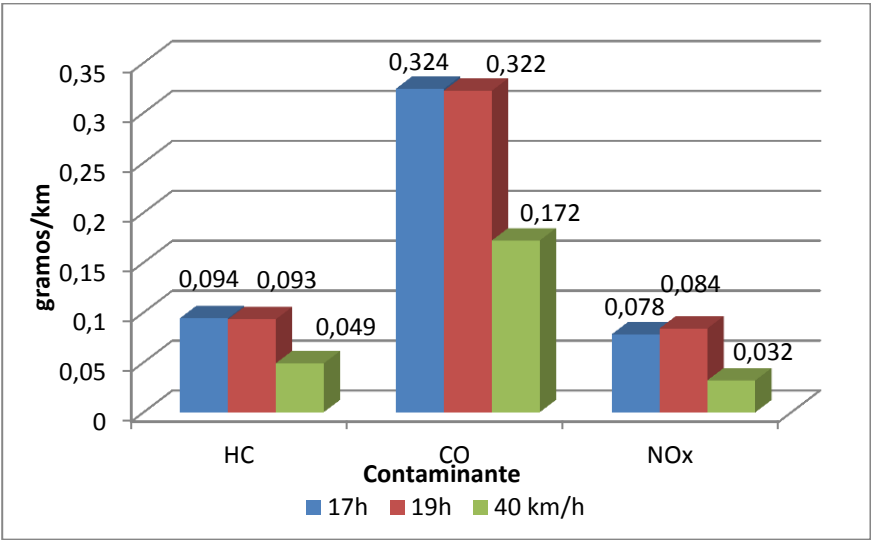
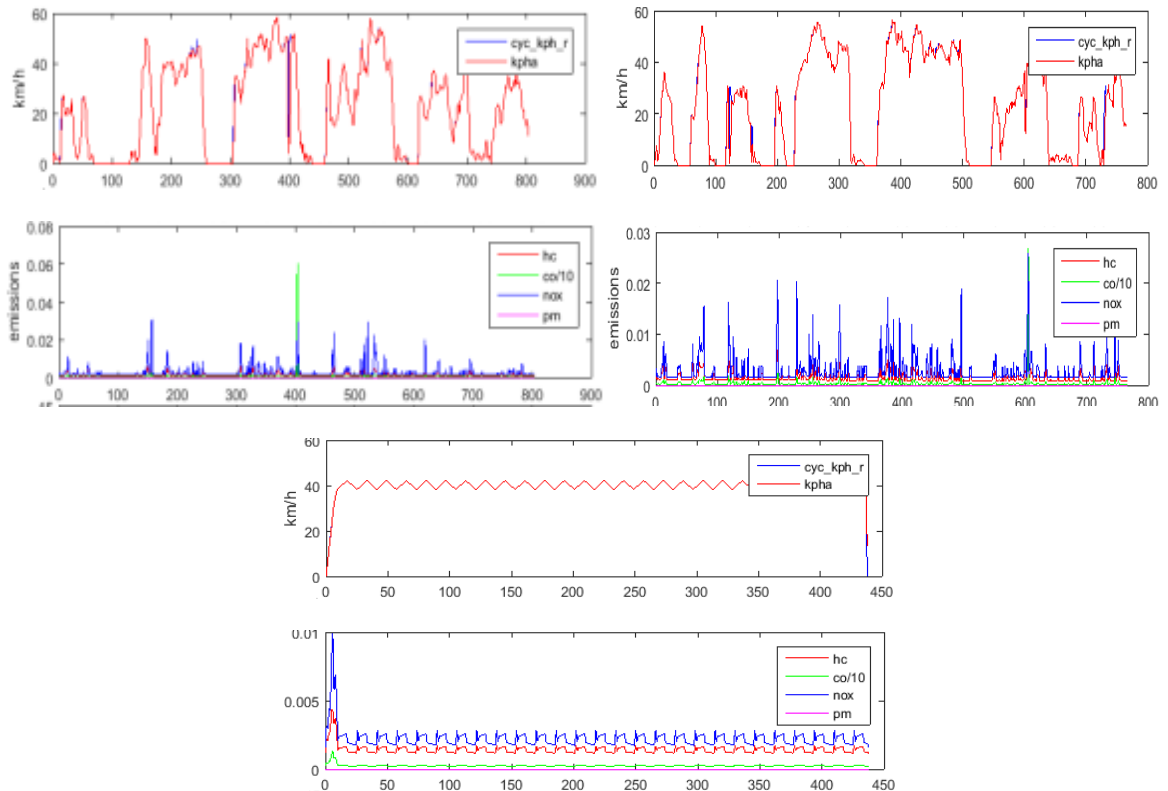


Tabla 4: Consumos y emisiones gasolina urbano (Izq: 17h, Centro: 19h, Dcha: 40km/h)

A la vista de los resultados ofrecidos por advisor, se puede observar unos números similares en ambos ciclos reales, pues se puede observar una curva, aunque diferente, similar en cuanto a características de velocidad de crucero, media y tiempos de parada.

Por otro lado, si se hubiera realizado un ciclo de velocidad constante, el consumo podría haber sido reducido a la mitad, 5.3 l/100km con una reducción de emisiones considerable.

- **Gasolina – suburbano:**



Gráfica 7: Gráficas de vehículo gasolina suburbano (Izq: 17h, Dcha 19h, Abajo: 40km/h constante)

Fuel Consumption (L/100 km)		15.8	Fuel Consumption (L/100 km)		15.3	Fuel Consumption (L/100 km)		7.2
Gasoline Equivalent		15.8	Gasoline Equivalent		15.3	Gasoline Equivalent		7.2
Distance (km)		4.8	Distance (km)		4.8	Distance (km)		4.8
Emissions (grams/km)				Standards				
HC	CO	NOx	PM	HC	CO	NOx	PM	
0.241	0.61	0.457	0	0.234	0.533	0.442	0	

Emissions (grams/km)				Standards				
HC	CO	NOx	PM	HC	CO	NOx	PM	
0.13	0.247	0.201	0					

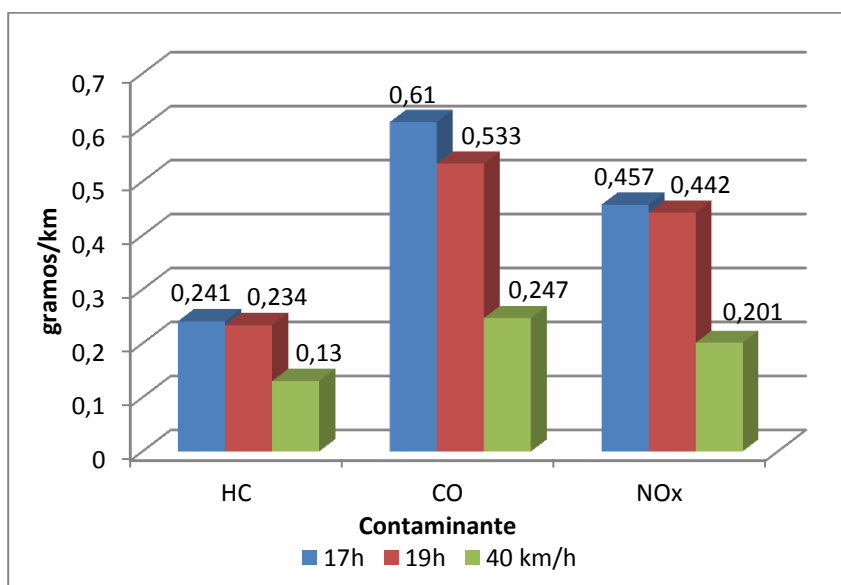
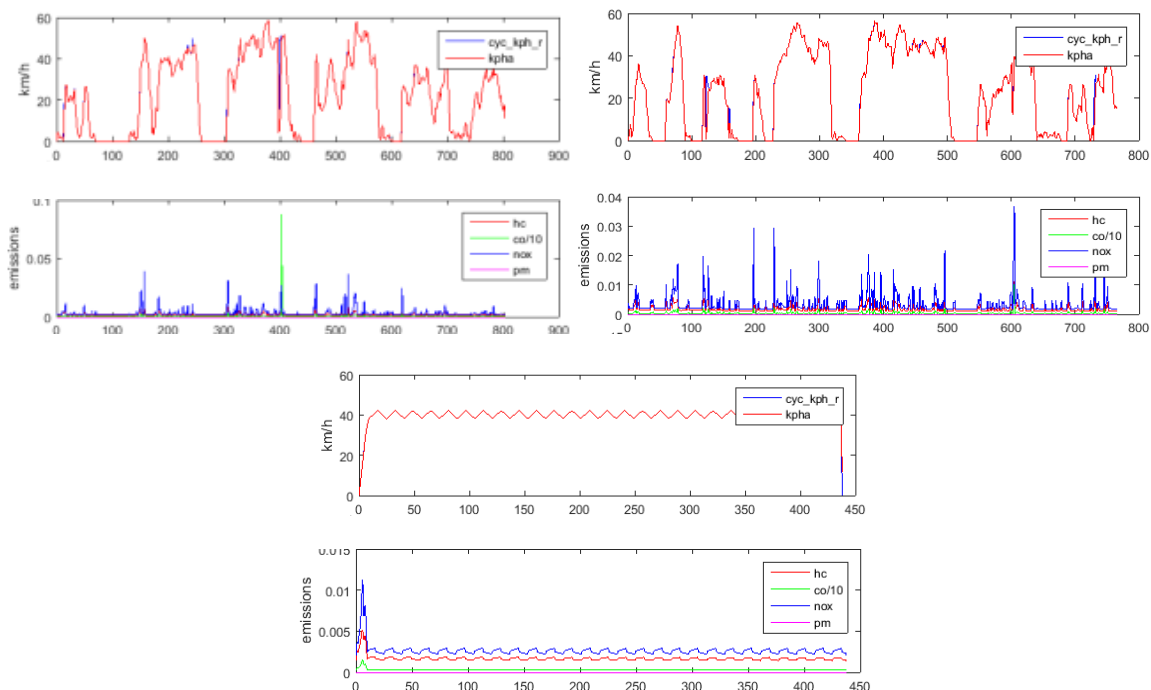


Tabla 5: Consumos y emisiones gasolina suburb. (Izq: 17h, Centro: 19h, Dcha: 40km/h)

En este caso el peso del vehículo ha influido más en el resultado, creando una diferencia entre los ciclos de las 17h y 19h.

En el ciclo diseñado de velocidad constante también se observa la influencia del peso. Las energías ahorradas derivadas de la inercia del vehículo son mayores, por lo que la reducción de consumo proporcional es mayor.

- **Gasolina – interurbanos:**



Gráfica 8: Gráficas de vehículo gasolina interurb. (Izq: 17h, Dcha 19h, Abajo: 40km/h)

Fuel Consumption (L/100 km)	18	Fuel Consumption (L/100 km)	17.5	Fuel Consumption (L/100 km)	8.1						
Gasoline Equivalent	18	Gasoline Equivalent	17.5	Gasoline Equivalent	8.1						
Distance (km)	4.8	Distance (km)	4.8	Distance (km)	4.8						
Emissions (grams/km)		Standards		Emissions (grams/km)		Standards					
HC	CO	NOx	PM	HC	CO	NOx	PM				
0.291	0.754	0.546	0	0.282	0.583	0.535	0	0.152	0.283	0.238	0

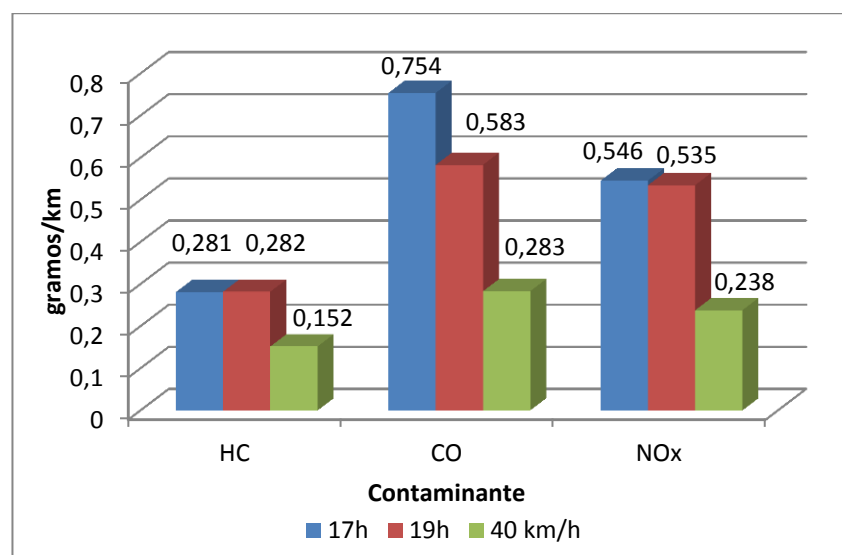
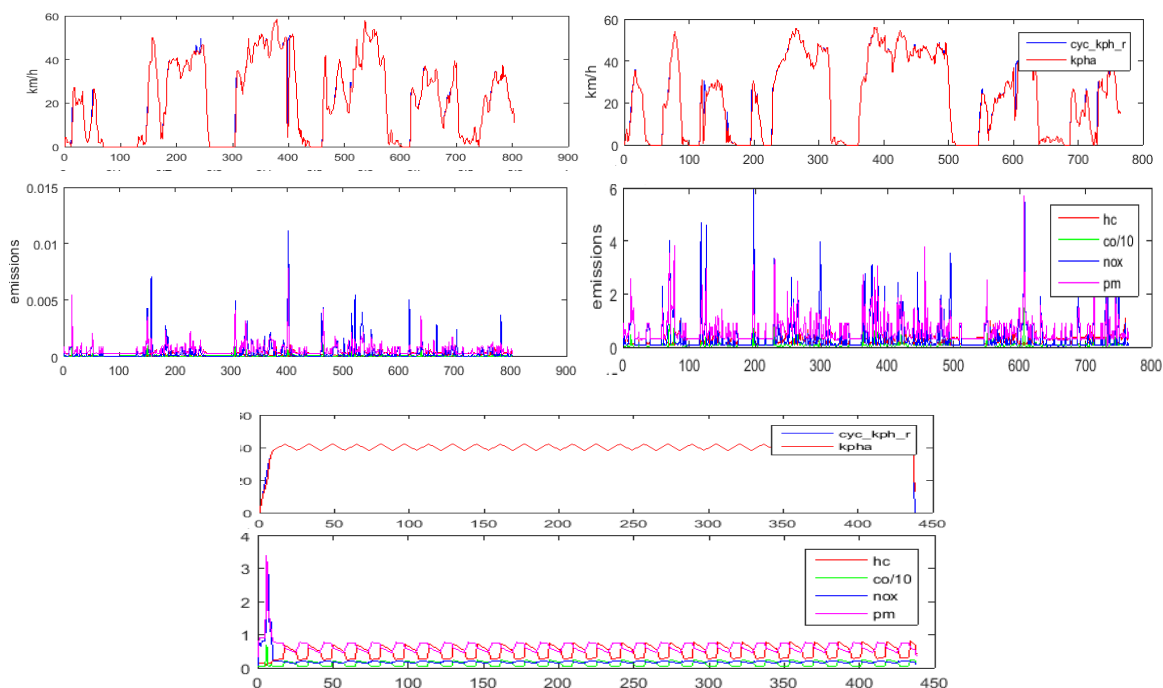


Tabla 6: Consumos y emisiones gasolina interurb. (Izq: 17h, Centro: 19h, Dcha: 40km/h)

Finalmente el caso de los interurbanos, no hace más que agudizar la conclusión obtenida de los datos leídos anteriormente. La diferencia de consumos en los ciclos reales aumenta, así como la proporción reducida al circular según el ciclo diseñado.

- **Diesel – Urbano:**



Gráfica 9: Gráficas de vehículo diesel urbano (Izq: 17h, Dcha 19h, Abajo: 40km/h constante)

Fuel Consumption (L/100 km)		9	Fuel Consumption (L/100 km)		8.7	Fuel Consumption (L/100 km)		4.6			
Gasoline Equivalent		9	Gasoline Equivalent		8.7	Gasoline Equivalent		4.6			
Distance (km)		4.8	Distance (km)		4.8	Distance (km)		4.8			
Emissions (grams/km)				Standards		Emissions (grams/km)				Standards	
HC	CO	NOx	PM	HC	CO	NOx	PM	HC	CO	NOx	PM
0.051	0.154	0.07	0.104	0.047	0.154	0.068	0.103	0.042	0.118	0.018	0.058

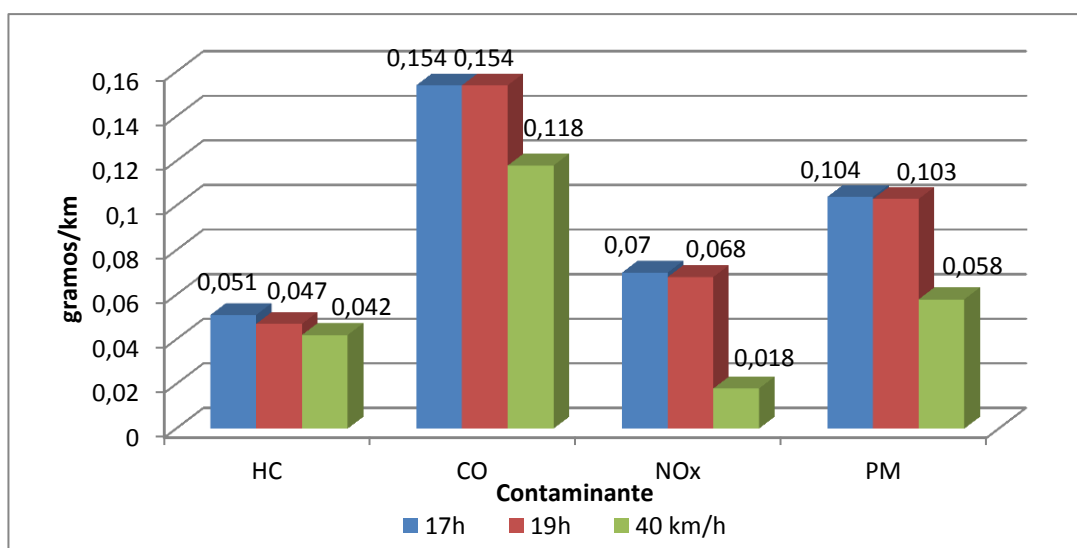
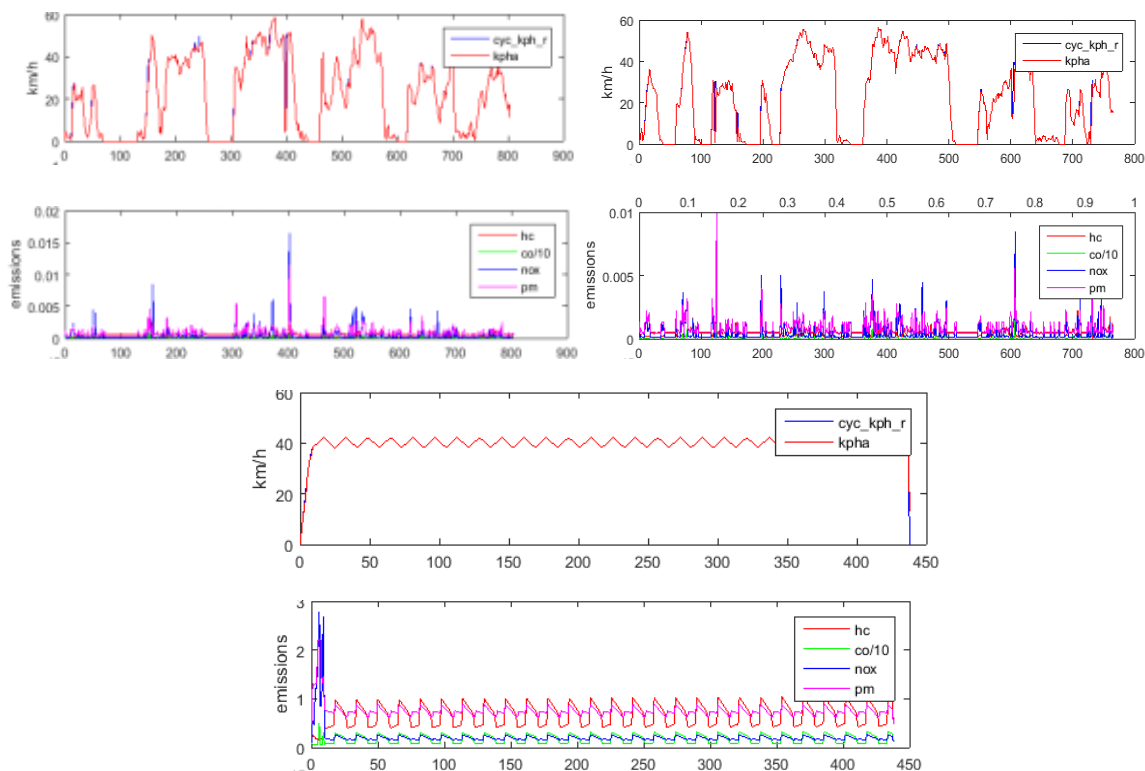


Tabla 7: Consumos y emisiones diesel urbano (Izq: 17h, Centro: 19h, Dcha: 40km/h)

En los vehículos diésel, en comparación con los de gasolina, se pueden concluir que la reducción de hidrocarburos es mínima y de CO es baja. Sin embargo, llama la atención la importante reducción de emisión de NOx, al mismo tiempo que en partículas, que suelen ser los dos componentes más polémicos en las pruebas, pues la reducción de uno supone el aumento del otro.

- **Diesel – suburbano:**



Gráfica 10: Gráficas de vehículo diesel suburbano (Izq: 17h, Dcha 19h, Abajo: 40km/h constante)

Fuel Consumption (L/100 km)		11.6	Fuel Consumption (L/100 km)		11.3	Fuel Consumption (L/100 km)		6			
Gasoline Equivalent		11.6	Gasoline Equivalent		11.3	Gasoline Equivalent		6			
Distance (km)		4.8	Distance (km)		4.8	Distance (km)		4.8			
Emissions (grams/km)				Standards		Emissions (grams/km)				Standards	
HC	CO	NOx	PM	HC	CO	NOx	PM	HC	CO	NOx	PM
0.082	0.231	0.078	0.137	0.074	0.223	0.075	0.136	0.06	0.16	0.02	0.068

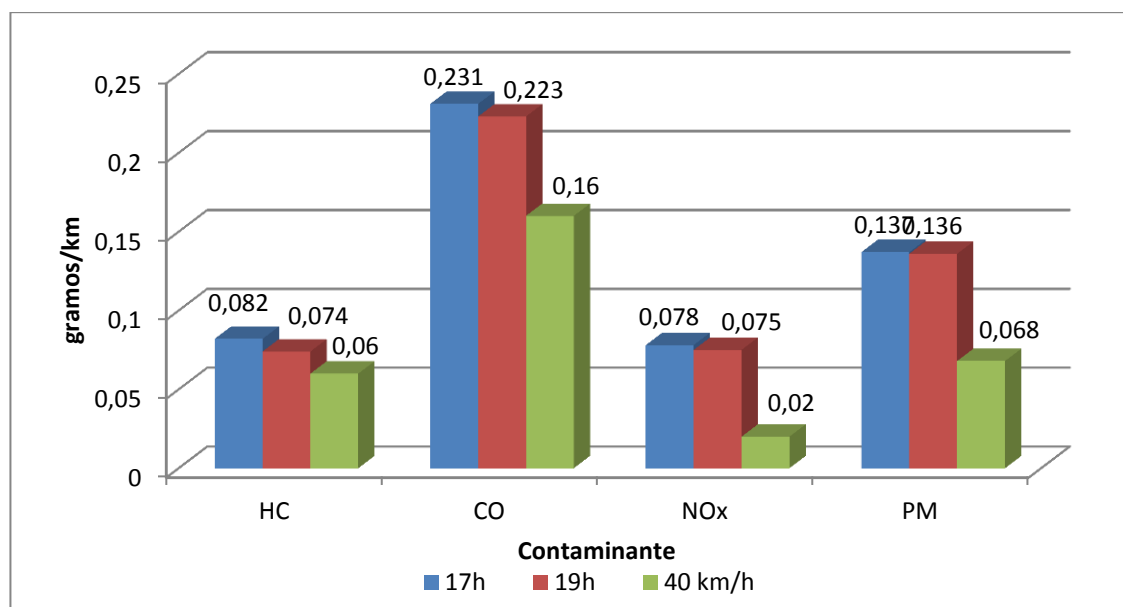
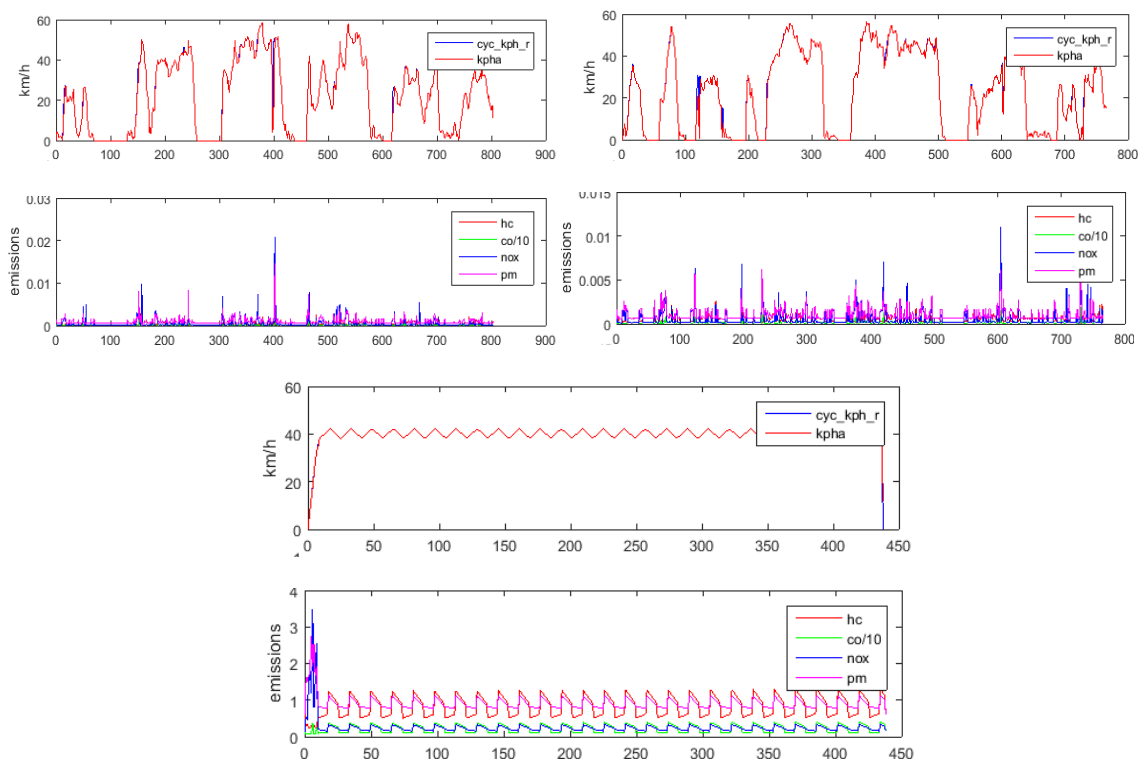


Tabla 8: Consumos y emisiones diesel suburbano (Izq: 17h, Centro: 19h, Dcha: 40km/h)

Las conclusiones que se pueden obtener de estas pruebas son similares a las del vehículo urbano.

- **Diesel – interurbanos:**



Gráfica 11: Gráficas de vehículo diesel interurbano (Izq: 17h, Dcha 19h, Abajo: 40km/h constante)

Fuel Consumption (L/100 km)				14.1	Fuel Consumption (L/100 km)				13.8	Fuel Consumption (L/100 km)				7.3
Gasoline Equivalent				14.1	Gasoline Equivalent				13.8	Gasoline Equivalent				7.3
Distance (km)				4.8	Distance (km)				4.8	Distance (km)				4.8
Emissions (grams/km)				Standards	Emissions (grams/km)				Standards	Emissions (grams/km)				Standards
HC	CO	NOx	PM		HC	CO	NOx	PM		HC	CO	NOx	PM	
0.104	0.286	0.09	0.167		0.095	0.271	0.088	0.165		0.074	0.194	0.023	0.082	

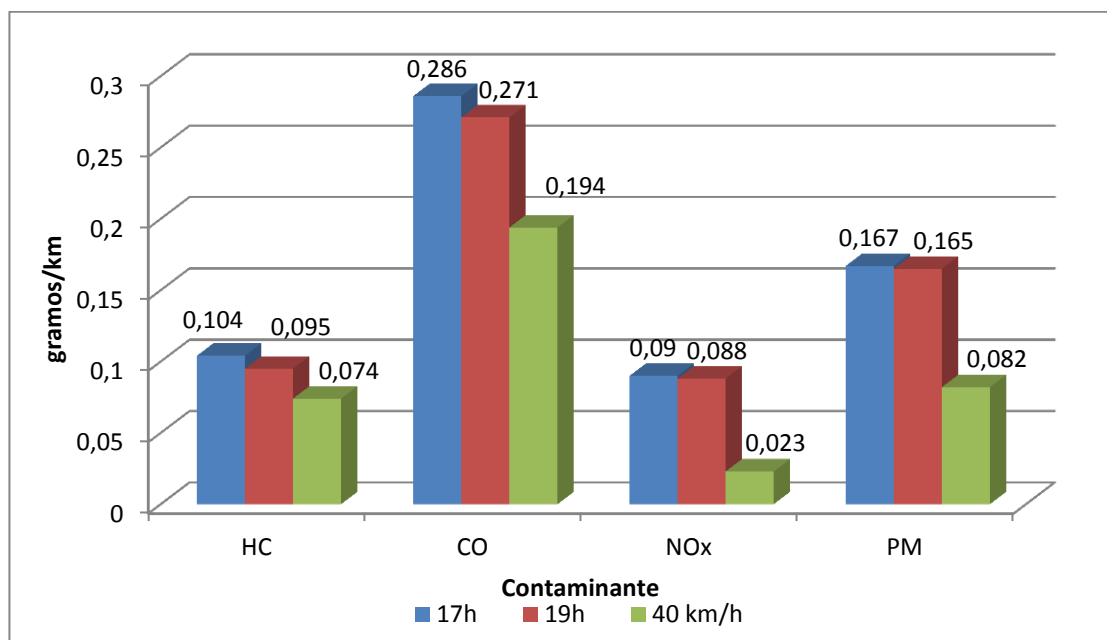


Tabla 9: Consumos y emisiones diesel suburbano (Izq: 17h, Centro: 19h, Dcha: 40km/h)

Las conclusiones son similares a las del vehículo urbano, pero con resultados de contaminación más elevados.

Todos los datos los datos obtenidos del programa en las tablas anteriores, pueden verse recolectados en la Tabla 10.

8.2.4. Resultados.

Vehículo	Comp.	R17h (g)	R19h (g)	R_medio /g)	R_40km/h	Reduccion
Gasolina urbano	HC	0,094	0,093	0,0935	0,049	48%
Gasolina urbano	CO	0,324	0,322	0,323	0,172	47%
Gasolina urbano	NOx	0,078	0,084	0,081	0,032	60%
Gasolina suburbano	HC	0,241	0,234	0,2375	0,13	45%
Gasolina suburbano	CO	0,51	0,533	0,5215	0,247	53%
Gasolina suburbano	NOx	0,457	0,442	0,4495	0,201	55%
Gasolina interurbano	HC	0,291	0,282	0,2865	0,152	47%
Gasolina interurbano	CO	0,754	0,583	0,6685	0,283	58%
Gasolina interurbano	NOx	0,546	0,535	0,5405	0,238	56%
Diesel urbano	HC	0,051	0,047	0,049	0,042	14%
Diesel urbano	CO	0,154	0,154	0,154	0,118	23%
Diesel urbano	NOx	0,07	0,068	0,069	0,018	74%
Diesel urbano	PM	0,104	0,103	0,1035	0,058	44%
Diesel suburbano	HC	0,082	0,074	0,078	0,06	23%
Diesel suburbano	CO	0,231	0,223	0,227	0,16	30%
Diesel suburbano	NOx	0,078	0,075	0,0765	0,02	74%
Diesel suburbano	PM	0,137	0,136	0,1365	0,068	50%
Diesel interurbano	HC	0,104	0,095	0,0995	0,074	26%
Diesel interurbano	CO	0,286	0,271	0,2785	0,194	30%
Diesel interurbano	NOx	0,09	0,088	0,089	0,023	74%
Diesel interurbano	PM	0,167	0,165	0,166	0,082	51%

Los resultados medios ponderados obtenidos para el recorrido realizado han sido de:

Gasolina	HC (g)	0,17285
	CO (g)	0,4443
	NOx (g)	0,2789

Diesel	HC (g)	0,066725
	CO (g)	0,198225
	NOx (g)	0,074625
	PM (g)	0,124425

Tabla 10: Resumen de registro de emisiones – Carrer d'Aragó

En la tabla de recolección de datos se ha generado una columna con la contaminación media de los dos ciclos reales, llamada R_medio, para poderlo comparar con el consumo de un ciclo semi-real. En la columna “Reducción” especifica el porcentaje de reducción de emisiones respecto a la media real que supondría la circulación al ritmo de ese ciclo.

Realizada la recolección de datos, se han ponderado los mismos en base a los porcentajes de vehículos aplicados al inicio de la sección (urbanos: 50%, suburbanos: 35%, interurbanos: 15%).

En base a la Gráfica 6 y Gráfica 11, teniendo en cuenta que los ejes Y compuestos por números enteros han de dividirse entre 1000, se observa cómo las correspondientes a los ciclos reales tienen unos valores similares.

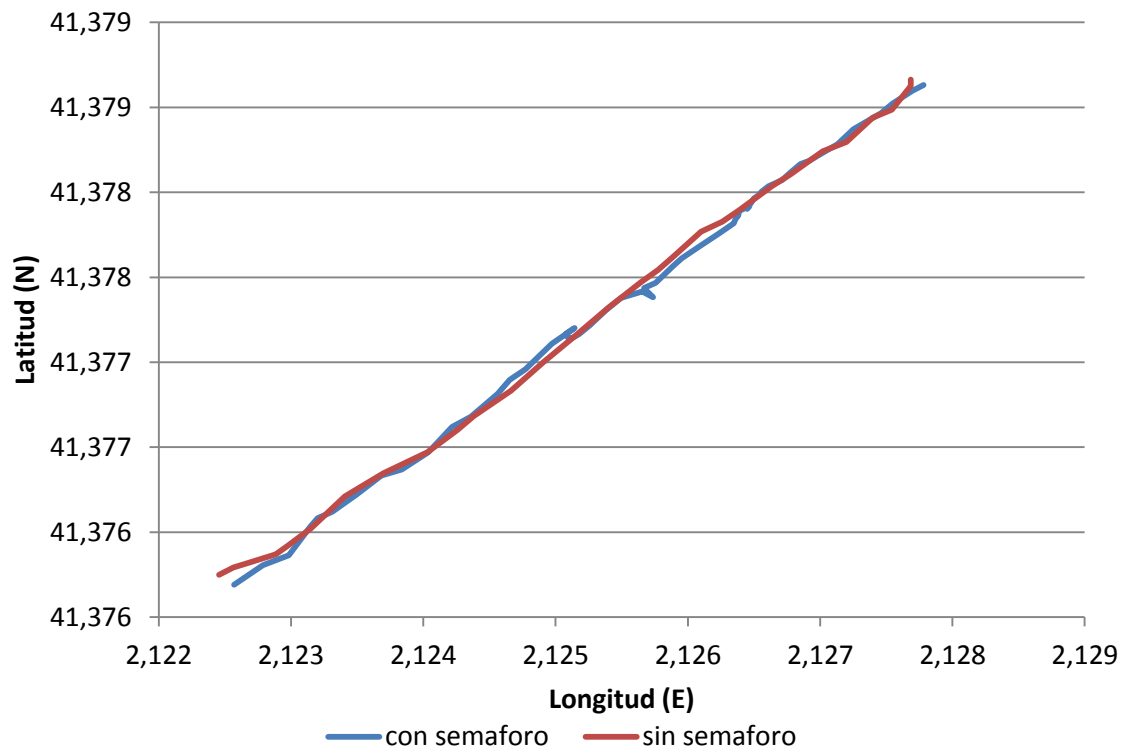
En el caso de compararlas con las gráficas de velocidad constante, los valores habituales tampoco difieren mucho. Sin embargo, la problemática de contaminación viene en los picos. Las aceleraciones son los momentos donde la contaminación generada se dispara por dos motivos:

- varían parámetros de funcionamiento para ganar potencia y reacción.
- Debido a ello, en los gasolina, la mezcla no es estequiométrica y por tanto el catalizador no hace el trabajo correctamente.
- En los diesel, la mezcla aumenta de temperatura, provocando incrementos importantes de NOx.

Hay otra problemática, que deriva de las detenciones, los motores al ralentí generan emisiones, y consumen combustible, sin embargo la velocidad es 0. Esto provoca que aumente el consumo medio por kilómetro general en el ciclo.

Finalmente, aunque no se ha realizado una recolección escrupulosa de los datos, se puede observar como por norma general el consumo se reduce un 50%.

Por todas estas razones, la conducción a una velocidad constante tiene niveles más bajos de emisiones y de consumo.

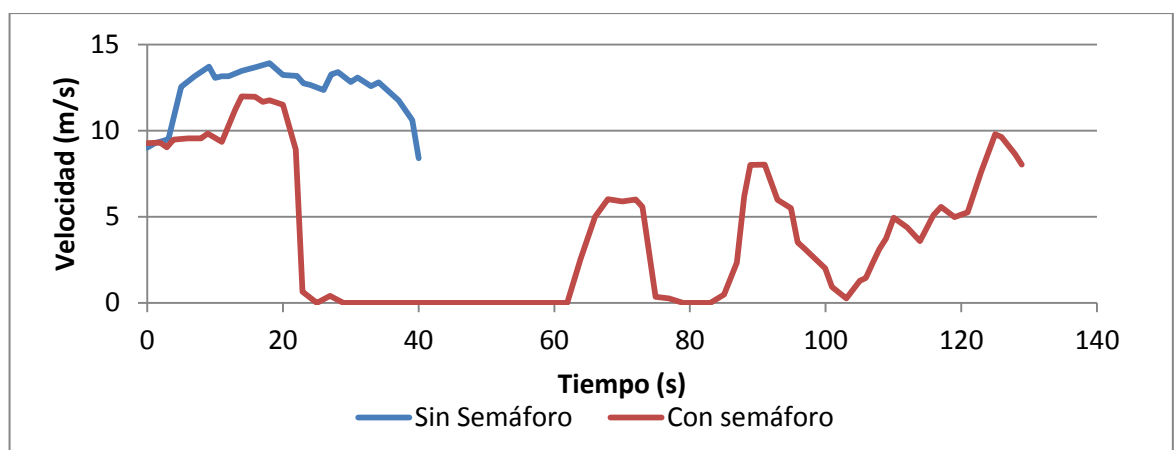


Gráfica 12: Registros de posición Avenida Madrid.

En el primer registro, el tramo de la avenida se ha realizado sin paradas. En el segundo registro, dos semáforos han sido los responsables de dos detenciones.

Para hacer el estudio se han realizado una serie de gráficas.

9.2. Análisis de fluidez del tráfico



Gráfica 13: Registro velocidad-tiempo

Con una simple gráfica velocidad-tiempo se pueden observar una mejora clara en la fluidez del tráfico en caso de tener los semáforos coordinados.

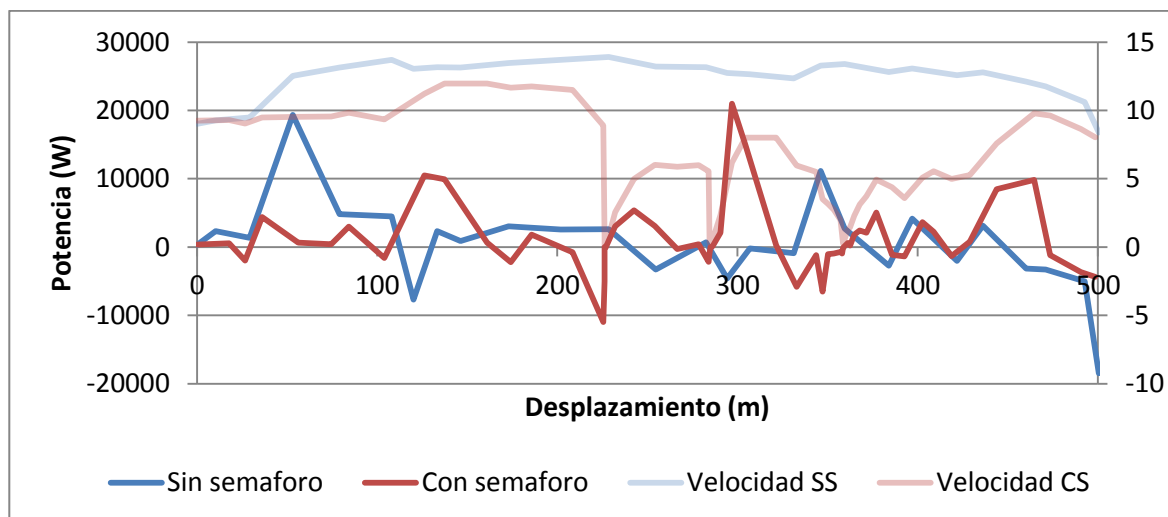
Por un lado, la velocidad de cruce es mayor sin semáforos.

Y por otro lado, el tiempo necesario para realizar el mismo trayecto es de 39s frente a los 128 del ciclo con semáforos, lo que supone una reducción del 70%. Además en el ciclo con semáforos, aproximadamente la mitad del tiempo se está detenido.

Estas dos consecuencias suponen una reducción de la velocidad media desde 12.5 m/s (40 km/h) hasta los 3.8 m/s (13.6 km/h).

9.3. Análisis energético teórico

Vista la influencia sobre el tráfico, se va a analizar la influencia en la energía necesaria de forma teórica. Para ello se ha debido hacer un análisis de potencias.

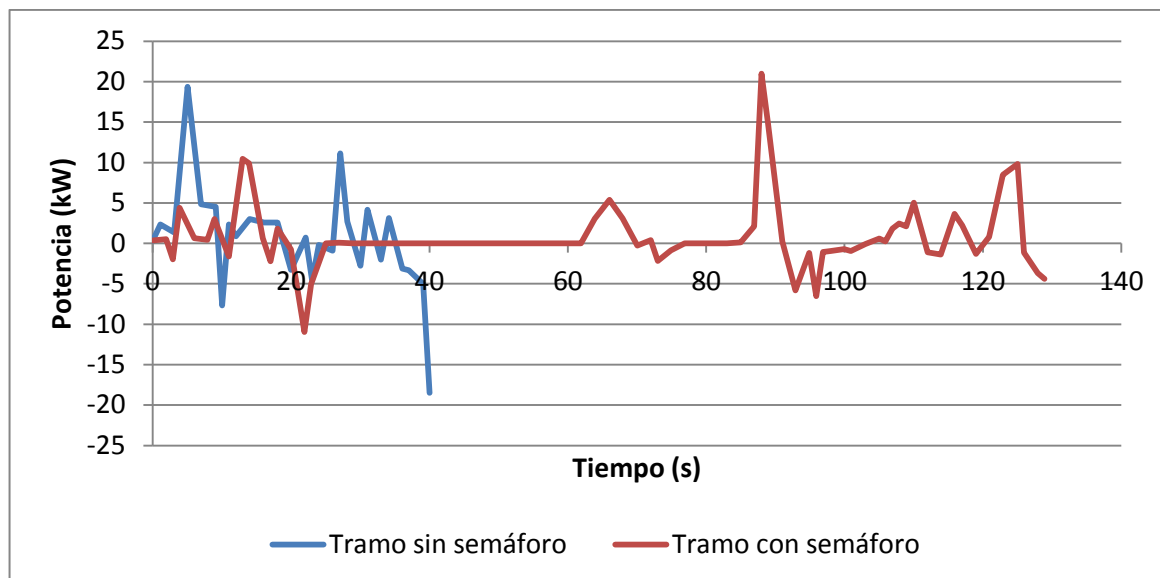


Gráfica 14: Registros de velocidad y potencias respecto al desplazamiento, Av. Madrid

En a Gráfica 14 se puede observar cómo la potencia utilizada ha llevado niveles bajos en el caso de sin semáforos, a pesar de ir a mayor velocidad, manteniéndose a unos niveles similares al caso de los semáforos.

A esto hay que añadir, que los periodos de utilización de las potencias en el trayecto con semáforos son mayores, debido a que el desplazamiento tarda más tiempo en realizarse.

Esto puede verse claramente en la Gráfica 15. Las potencias requeridas en el ciclo sin semáforo tienen una tendencia a ser mayores y de mayor duración.



Gráfica 15: Diagrama Potencia-Velocidad

Esto quiere decir que el área bajo la curva (solo zona positiva) azul es menor que el de la roja.

Se ha querido afianzar el resultado de forma cuantitativa.

Para ello se ha desarrollado el programa de Matlab del cálculo de energías.

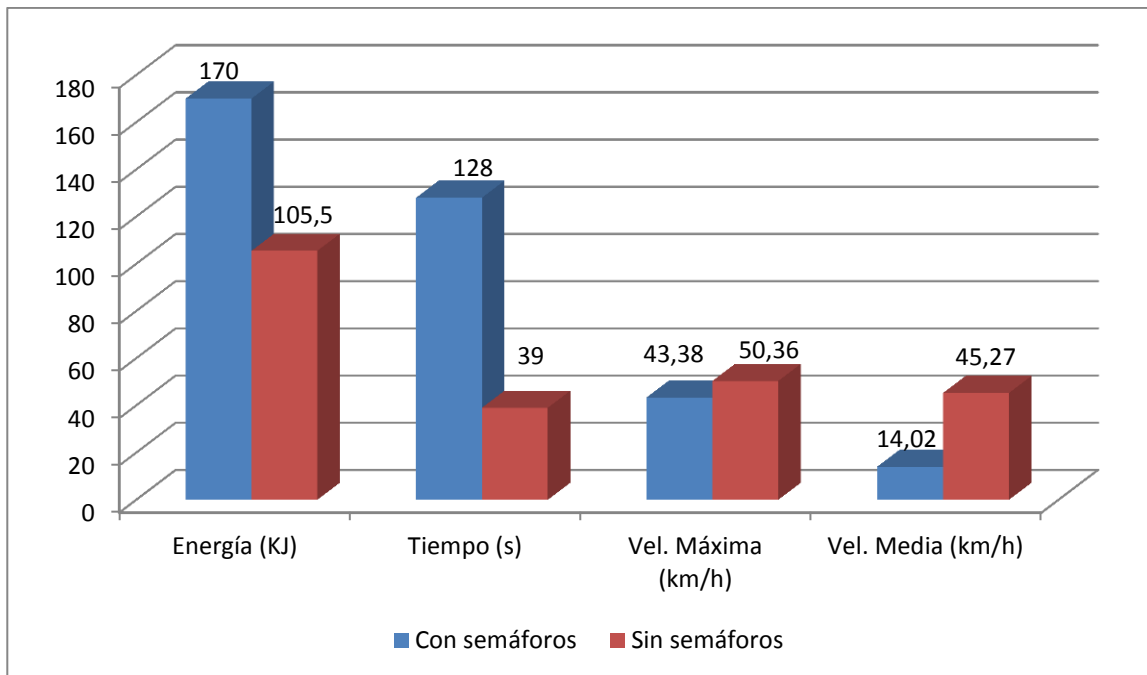
Este programa hace una llamada a la base de datos y calcula la energía para todos los vehículos y motores.

En este caso ha sido escogido el SEAT Mii, vehículo de pequeñas dimensiones y peso reducido, con la motorización más inferior.

Tras la ejecución del programa, se ha podido comprobar que para realizar el ciclo con semáforos, es necesaria una energía aproximada de 170kJ, y para realizarlo sin semáforos es de unos 105.5kJ.

	Con semáforos	Sin semáforos
Energía (KJ)	170	105,5
Tiempo (s)	128	39
Vel. Máxima (km/h)	43,38	50,36
Vel. Media (km/h)	14,02	45,27

Tabla 11: Resultados microciclos Av.Madrid



Gráfica 16: Resultados microciclos Av. Madrid

Esto supone que el recorrido con semáforos, teniendo en cuenta que dura 128 segundos, se podría haber hecho con un motor que ofreciera una potencia media de 1.33kW.

Y en el caso del recorrido sin semáforos, siendo en éste la duración de 39 segundos, la potencia media necesaria sería de 2,7 kW.

Esas potencias serían ideales para un vehículo híbrido serie.

Como se puede observar, sin semáforos, la potencia necesaria es mayor, sobre todo por los efectos de la potencia necesaria para vencer los esfuerzos aerodinámicos; sin embargo, puesto que la duración es inferior a la tercera parte del tramo con semáforos, la energía total necesaria es inferior.

Además, estos resultados son muy conservadores debido a:

- masa del vehículo reducida, y por tanto tiene menor influencia en la energía necesaria en las fases de aceleración (favorece el ciclo con semáforos).
- Coeficiente aerodinámico relativamente alto por su corta longitud (penaliza el ciclo sin semáforos).
- No se tiene en cuenta el tiempo al ralentí (favorece el ciclo con semáforos), porque tan solo se cuenta con el movimiento.

Por tanto, realizando una inversión en estudios sobre el tráfico, y en programación de semáforos, se podría reducir los niveles de contaminación emitidas por los vehículos en al menos un 38%. Agilizando la circulación en las ciudades hasta niveles de triplicar la velocidad media, al reducir los tiempos de espera.

El estudio de toda una ciudad completa para la coordinación de las señales lumínicas es un trabajo de gran inversión temporal y de recursos, dado el gran número de vías e

intersecciones que contiene. Sin embargo, una inversión de este calibre puede suponer una reducción de contaminación drástica que en algún momento puede ser vital para adaptarse a alguna nueva normativa.

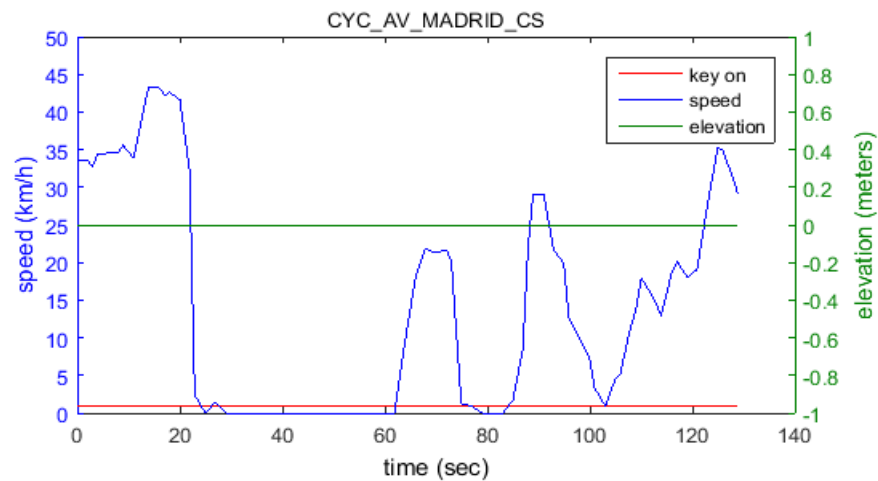
9.4. Análisis de consumos y emisiones mediante Advisor

Haciendo uso del programa Advisor, se ha realizado un análisis de ambos ciclos de la Avenida Madrid para comparar consumos y emisiones reales.

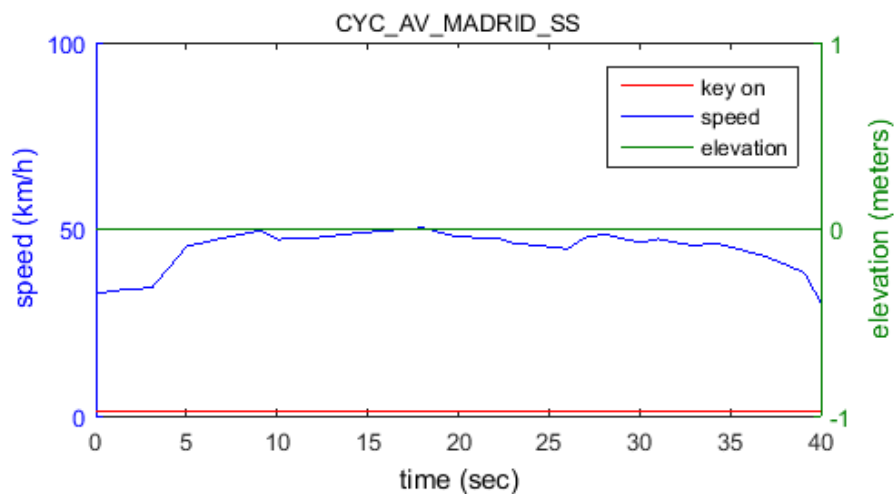
En este caso han sido utilizados los dos vehículos referencia urbanos, cuyas características son visibles en la Tabla 2.

Para comenzar con el proceso de prueba ha habido que crear ambos ciclo en un formato que Advisor pudiera leer (como se explica en el Anexo III).

Los ciclos leídos por Advisor se pueden ver en la Gráfica 17 y Gráfica 18.



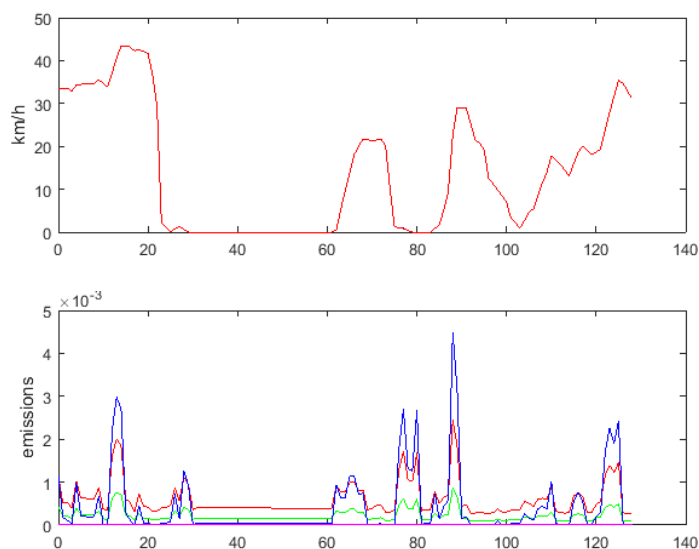
Gráfica 17: Ciclo en Advisor Av. Madrid con semáforos.



Gráfica 18: Ciclo en Advisor Av. Madrid sin semáforos.

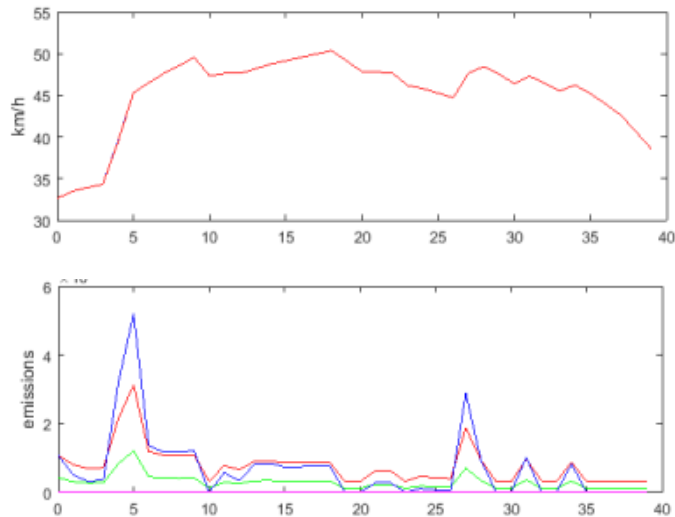
9.4.1. Gasolina

- Con semáforos



Gráfica 19: Emisiones gasolina Av. Madrid con semáforos.

- Sin semáforos



Gráfica 20: Emisiones gasolina Av. Madrid sin semáforos.

Se puede observar en la Gráfica 19 como las emisiones se disparan en varias ocasiones cuando hay semáforos, debido a las aceleraciones. Y, además, en las paradas se está emitiendo unos altos niveles de hidrocarburos al mantener el motor al ralentí.

Sin embargo, si se observa la Gráfica 20, los únicos incrementos notables son el del inicio, pues el vehículo parte desde parado, y el de una ligera aceleración durante el

recorrido. En el resto del trayecto, los niveles de contaminación se mantienen a niveles bajos e incluso similares al de ralentí.

De Advisor también se han obtenido resultados globales del ciclo, como la emisión media de hidrocarburos, de monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

Fuel Consumption (L/100 km)	17.1	Fuel Consumption (L/100 km)	6.4
Gasoline Equivalent	17.1	Gasoline Equivalent	6.4
Distance (km)	0.5	Distance (km)	0.5
Emissions (grams/km)		Standards	
HC	CO	NOx	PM
0.155	0.568	0.114	0
Emissions (grams/km)		Standards	
HC	CO	NOx	PM
0.061	0.233	0.055	0

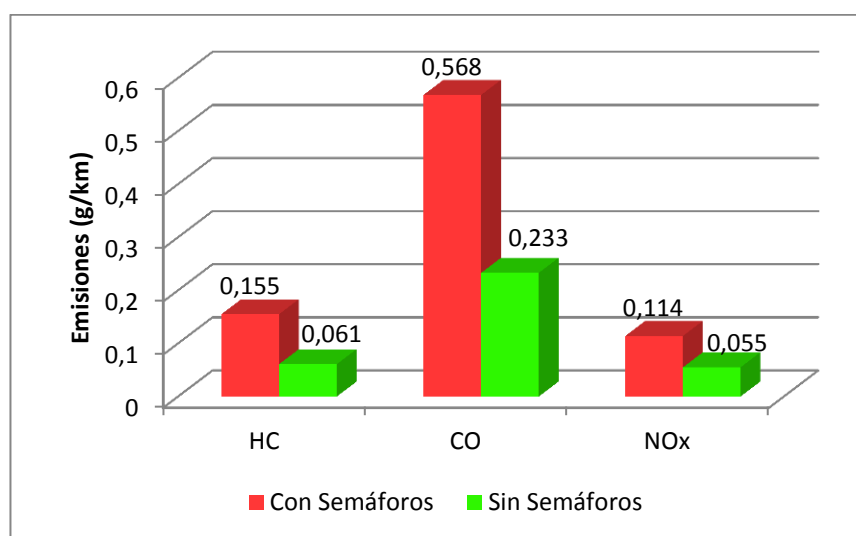


Tabla 12: Resumen comparativo de emisiones gasolina Av. Madrid

En la Tabla 12 se puede observar claramente la diferencia de emisiones y consumos entre un registro y otro.

Las emisiones sufren una reducción de entre un 50 y un 60%, y el consumo se reduce en más de un 60%% (disminuyendo hasta valores, de nuevo similares al consumo por carretera).

Igualmente, el rendimiento medio del motor aumenta, por trabajar a niveles de par más o menos constantes y en unas relaciones más desahogadas, pues en el ciclo sin semáforos no se necesita fuerza para aceleraciones. Los valores de rendimientos del motor obtenidos son de 0.1541 para el ciclo con semáforos, y 0.1949 para el ciclo sin semáforos.

Energy Usage Table				
POWER MODE				
	In	Out	Loss	Eff.
Fuel	0	2690		
Fuel Convert	2690	415	2276	0.15
Clutch	365	254	111	0.7
Hyd. Torque Generator				
Torque Coupling				
Energy Storage				
Energy Stored				
Motor/Controller				
Gearbox	254	230	24	0.91
Final Drive	230	230	0	1
Wheel/Axle	230	214	17	0.93
Braking				
Aux Loads	90	0	90	0
Aero			14	
Rolling			53	

Energy Usage Table				
POWER MODE				
	In	Out	Loss	Eff.
Fuel	0	1009		
Fuel Convert	1009	197	812	0.2
Clutch	177	177	0	1
Hyd. Torque Generator				
Torque Coupling				
Energy Storage				
Energy Stored				
Motor/Controller				
Gearbox	177	163	14	0.92
Final Drive	163	163	0	1
Wheel/Axle	163	152	11	0.93
Braking				
Aux Loads	27	0	27	0
Aero			32	
Rolling			52	

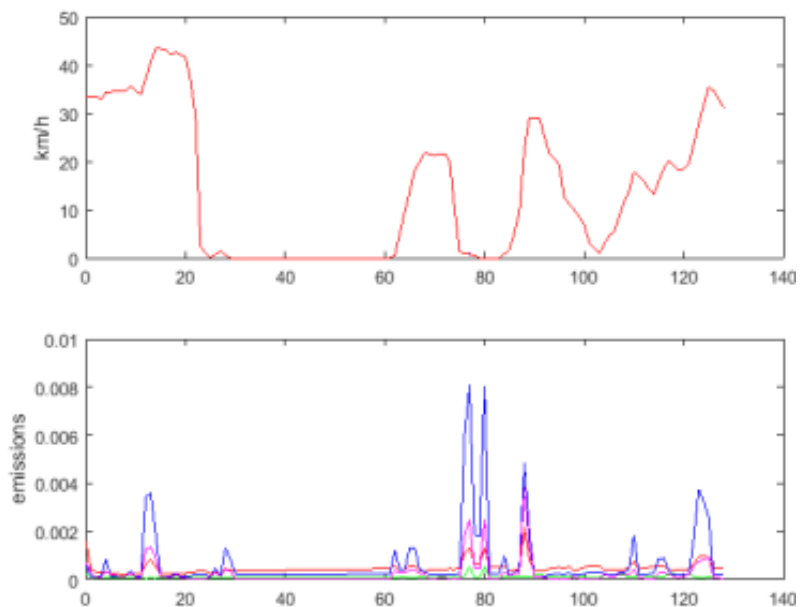
Tabla 13: Distribución Energética, vehículos gasolina, Av. Madrid (izq. c/semaforo; dcha. s/semaforos)

En la Tabla 13 se pueden comparar las cantidades energéticas que intervienen a lo largo de los ciclos de conducción del vehículo.

Los valores correspondientes al ciclo sin semáforos son inferiores en todos los casos, salvo en la energía consumida debido a las fuerzas resistentes aerodinámicas del vehículo. Además, los rendimientos de cada componente (además del motor en sí) por sí solo son superiores, véase la caja de cambios, o el embrague.

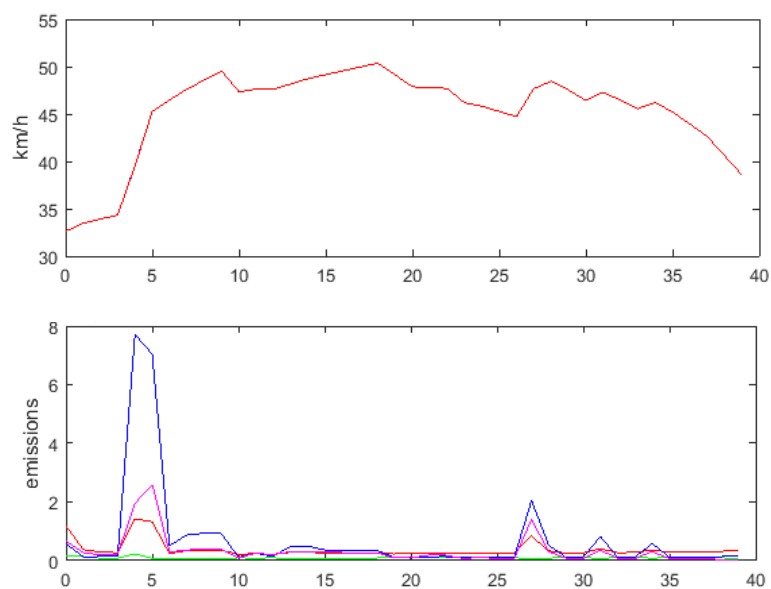
9.4.2. Diesel

- Con semáforos



Gráfica 21: Emisiones diesel Av. Madrid con semáforos.

- Sin semáforos



Gráfica 22: Emisiones diesel Av. Madrid sin semáforos.

A modo cualitativo se puede observar de nuevo, como los niveles de emisiones en el ciclo sin semáforos tan solo alcanzan los del ciclo lento en la aceleración inicial. En el caso de los vehículos diésel el resultado es más agudizado que en los de gasolina, debido a que las emisiones de NOx aumentan rápidamente al salirse de cierto rango de potencias, debido a la temperatura.

De nuevo, las emisiones se disparan en las fases de aceleración. En este caso, los NOx, superan con creces a los valores obtenidos en los vehículos de gasolina. Sin embargo, las emisiones de CO son mucho inferiores, gracias al exceso de oxígeno.

Si se hace referencia a los valores medios del ciclo, se pueden sacar conclusiones interesantes. Se han obtenido las emisiones medias de hidrocarburos, de monóxido de carbono óxidos de nitrógeno y partículas.

Fuel Consumption (L/100 km)	13.5	Fuel Consumption (L/100 km)	4.9
Gasoline Equivalent	15.3	Gasoline Equivalent	5.6
Distance (km)	0.5	Distance (km)	0.5
Emissions (grams/km)		Emissions (grams/km)	
HC	0.124	HC	0.029
CO	0.298	CO	0.077
NOx	0.178	NOx	0.056
PM	0.066	PM	0.026

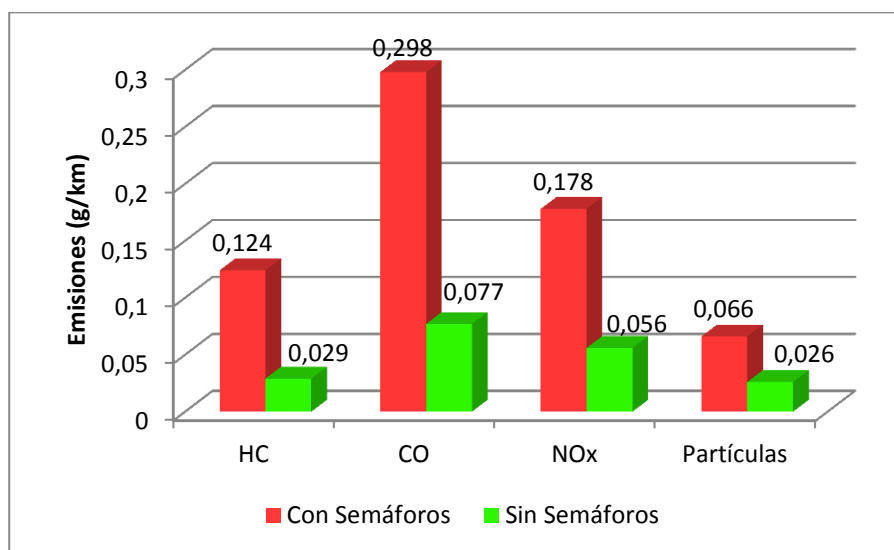


Tabla 14: Resumen comparativo de emisiones diésel Av. Madrid

De todos los resultados obtenidos hay que destacar los números relativos a la reducción de HC de en torno al 80% y CO y NOx de alrededor del 70%.

Sin embargo, no se puede olvidar la reducción de partículas, que su bien no están alta, lograr reducir un 60% supone lo mismo que eliminar del tráfico urbano un 60% de los vehículos diésel (comentando el interés actual por eliminar los motores diésel del interior

de las ciudades) cantidad dentro del ambiente urbano es un número muy a tener en cuenta.

Y haciendo alusión al consumo, éste se ve reducido de nuevo hasta niveles de ruta en carretera, un 63% inferior. Esto repercute directamente en las emisiones de CO₂.

Energy Usage Table					Energy Usage Table				
POWER MODE					POWER MODE				
	In	Out	Loss	Eff.		In	Out	Loss	Eff.
Fuel	0	2405			Fuel	0	975		
Fuel Convert	2405	442	1963	0.18	Fuel Convert	975	207	768	0.21
Clutch	394	272	121	0.69	Clutch	188	188	0	1
Hyd. Torque					Hyd. Torque				
Generator					Generator				
Torque Coupling					Torque Coupling				
Energy Storage					Energy Storage				
Energy Stored					Energy Stored				
Motor/Controller					Motor/Controller				
Gearbox	272	253	20	0.93	Gearbox	188	178	11	0.94
Final Drive	253	253	0	1	Final Drive	178	178	0	1
Wheel/Axle	253	235	17	0.93	Wheel/Axle	178	166	12	0.93
Braking					Braking				
Aux Loads	90	0	90	0	Aux Loads	27	0	27	0
Aero			14		Aero			32	
Rolling			58		Rolling			58	

Tabla 15: Distribución Energética, veh. gasolina, Av. Madrid (izq. c/semaforo; dcha. s/semaforos)

De nuevo, puede observarse una fuerte reducción general de la energía necesaria, así como un incremento en los rendimientos en general. Sin embargo, no ha supuesto un aumento del rendimiento del motor tan alto como en el caso del vehículo de gasolina, pasando de 0.1837 a 0.2125.

10. Presupuesto:

Este estudio es tan solo una pequeña parte del trabajo necesario para el desarrollo de todo el proyecto. Por ello, tan solo se van a tener en cuenta el trabajo aplicado a esta sección.

Se ha considerado que tan solo se tenía en propiedad el ordenador de trabajo. Por tanto, el vehículo se ha considerado de alquiler y el teléfono, comprado a tal fin. También ha sido considerado el uso del vehículo para la realización de los registros de prueba realizados como ensayos previos al registro utilizado en el proyecto.

	Descripción	Coste unitario	Cantidad	Coste
Mano de Obra	Base de datos	35€/h	80 h	2800€
	Registro de rutas	45€/h	30 h	1350€
	Programación y estudio	40€/h	120 h	4800€
	Desarrollo del informe	35€/h	80 h	2800€
	Subtotal		320 h	11750€
Herramientas	Teléfono móvil	100€/ud	1 ud	100€
	Alquiler vehículo	40€/día	2 días	80€
	Subtotal			180€
Consumibles	Combustible	0.11€/km	80 km	8,8€
	Subtotal			8,8€
TOTAL				11938,8€

11. Impacto medioambiental

El estudio realizado en este documento sobre los ciclos de conducción en Barcelona trata de encontrar los beneficios en cuanto a reducción de emisiones que pueden a través de la mejora del tráfico en la ciudad (en este caso de Barcelona).

Se ha podido concluir que, logrando la no detención de los vehículos durante su trayecto urbano, pueden reducirse las emisiones en más del 50%, superando el 70% en algunos casos. Además, la reducción sería muy visible también en la utilización del combustible necesario, disminuyendo las emisiones de CO₂ y alargando el periodo estimado para que desaparezca este tipo de combustible

Durante el estudio del proyecto, con el registro de los ciclos, ha sido emitida una cierta cantidad de emisiones. La medición de las mismas es compleja, ya que el vehículo utilizado no está sujeto a una normativa Euro, tiene inyección por carburación y sin catalizar, por lo que no es posible hacer una estimación de las mismas.

12. Conclusiones

Del estudio realizado se pueden sacar varias conclusiones interesantes.

- La base de datos registrada finalmente contiene un total de 4757 datos sobre 197 vehículos turismos en 30 variables diferentes.
 - Para la elaboración de una base de datos hay que hacer una selección previa de los objetivos tanto en amplitud (cantidad de entradas) como en profundidad (cantidad de variables por entrada), pues abarcar todo el campo deseado muchas veces es imposible debido a su tamaño.
 - Tener una base de datos correctamente ordenada es muy útil a la hora de trabajar con datos reales. En el caso de este estudio ha permitido el cálculo valores de características de referencia, para evitar procesar todos los vehículos.
- La circulación en la Carrer d'Aragó no se ha visto influenciada por el tráfico, por lo que las emisiones del ciclo completo por cada vehículo son similares en cualquier momento del día.
 - Tras recorrer la calle en dos momentos diferentes del día, se puede comprobar que, aunque la variación del tráfico sea notable, la velocidad media de ambos trayectos es similar, por tanto, se deduce que la causa de la lentitud no es ésta.
 - Comparando las gráficas de velocidad-tiempo se observan varios periodos de parada, que si bien no son al mismo tiempo en ambos ciclos, sí que aparecen en periodos similares. Los vehículos llegan a alcanzar cruceros cercanos al límite urbano de velocidad, pero por poco tiempo, ya que no tardan los semáforos en cerrarse. Por tanto se considera que aquí hay un problema de coordinación de semáforos.
 - Tras simular un ciclo de velocidad oscilante entre 38 km/h y 42 km/h, simulando un caso en el que los semáforos de toda la calle estuvieran coordinados, se puede comprobar como las emisiones y los consumos se podrían reducir en torno a un 50% de media, incluidas las partículas en los vehículos diésel, y llegando a casos de reducción como el de NOx en diésel del 70%.
- Dependiendo de en qué momento se entre por la Av. Madrid, se puede triplicar el tiempo de ciclo, con varias paradas, y por ello aumentar las emisiones y consumos.
 - Unos segundos de diferencia al circular por ese tramo supone el cambio de poder cruzar el primer medio kilómetro de la avenida sin detenciones, a que 3 de los semáforos se cierren uno tras otro.

- Tras realizar la comparativa, circular con los semáforos en verde supone invertir tan solo un 30% del tiempo, lo que supone una gran fluidez del tráfico, y obtener consumos inferiores a la mitad.
 - El rendimiento térmico y de los componentes aumenta en la circulación sin semáforos
 - Y en el caso de las partículas, se logra reducir la emisión en un 60%, equivalente a eliminar el 60% de los vehículos diésel de la ciudad.
- Invertir capital en coordinación de semáforos supone una gran inversión dada la complejidad de calles que comprende Barcelona, pero puede que en algún momento sea conveniente para adaptarse a nuevas normativas.

13. Nuevas vías de investigación

Respecto a la base de datos, la realizada es un punto de partida, ya que en la contaminación no intervienen solo turismos ni solo vehículos nuevos. Por tanto, la continuación se podría realizar en la línea de la estadística para ver qué tipo de vehículos hay en circulación, y añadir categorías según se consideren relevantes.

En la línea de los ciclos realizados, y en base a las conclusiones obtenidas sobre los problemas de circulación (que generan emisiones), el estudio podría continuarse por la línea de la programación, programando una aplicación capaz de coordinar semáforos en redes de calles, o incluso un gran sistema capaz de detectar el tráfico y con esos datos variar la coordinación.

14. Agradecimientos

Como proyecto final de estudios, quisiera hacer un agradecimiento especial a la familia por darme la posibilidad y el apoyo para cumplir una de mis metas.

A los amigos hechos durante la estancia en Barcelona por su compañía, compañerismo y ayuda a lo largo de toda la etapa.

A los compañeros del proyecto por cederme la aplicación GPS y por instruirme en lo básico de Matlab.

Y al tutor, Álvarez, por ofrecerme el proyecto y la posibilidad de realizarlo con él, así como consejos para el desarrollo del mismo.

Bibliografía

Información sobre normativas de emisiones:

- [1] VIDASOSTENIBLE.ORG, *Historia de las tecnologías de reducción de emisiones contaminantes en vehículos* [<http://www.vidasostenible.org/informes/historia-de-las-tecnologias-de-reduccion-de-emisiones-contaminantes-en-vehiculos/> , enero de 2015]
- [2] DGT, Dirección General de Tráfico, *La DGT clasifica el parque de vehículos en función de su potencial contaminante* [<http://www.dgt.es/es/prensa/notas-de-prensa/2016/20160414-dgt-clasifica-parque-vehiculos-funcion-potencial-contaminante.shtml>, 14 de abril de 2016]

Estadísticas sobre el parque de vehículos:

- [4] DGT, Dirección General de Tráfico, *Portal Estadístico del Parque móvil, Informes predefinidos* [https://sedeapl.dgt.gob.es/WEB_IEST_CONSULTA/subcategoria.faces]

Valores para las bases de datos:

- [5] KM77.com, *Precios y datos* [<https://www.km77.com/marcas/portada/portada.asp>]

Programación en Matlab:

- [6] LAWEBDELPROGRAMADOR, *Foro de Matlab*
[<http://www.lawebdelprogramador.com/foros/Matlab/index1.html>]
[<http://www.lawebdelprogramador.com/foros/Matlab/871191-Simbolo-desigual.html>]
[<https://es.mathworks.com/help/matlab/ref/plot.html>]